

Passiv- und aktiv-optische Detektion und Vermessung von Weltraumschrott

Paul Wagner, paul.wagner@dlr.de

Institut für Technische Physik

FBMN Seminar
16.12.2015

A large, curved image of the Earth from space occupies the bottom right portion of the slide. It shows a view of the Earth's surface with blue oceans, green landmasses, and white clouds. The curvature of the planet is clearly visible, and the image is positioned as if it's a view from a satellite or space station.

Wissen für Morgen

Inhalt

- Motivation
- Detektionsprinzip
- Messvorrichtung am Uhlandshöhe Forschungsobservatorium
 - Winkelbestimmung
 - Laser Basierte Entfernungsmessung (Laser Ranging)
 - Neudetektion
- Ausblick



Nutzung von Satelliten im Alltag

Fernseh- / Rundfunkempfang



Navigation



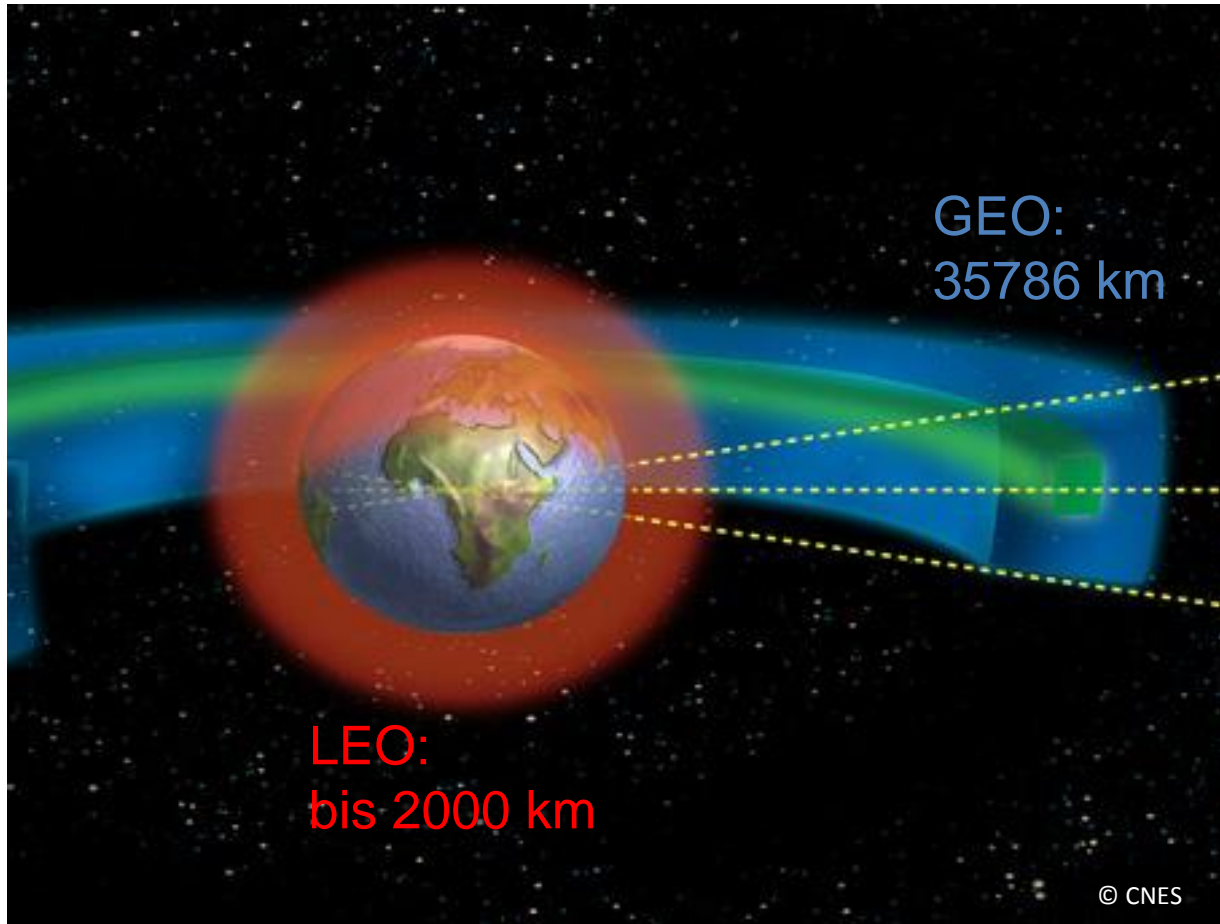
Weltweiter Mobilfunk / Datenkommunikation



Wettervorhersage



Umlaufbahnen von Satelliten



80

Satellitenstarts pro Jahr

3600

Satelliten

davon **1000** in Betrieb

6300 t

Gesamtmasse

Eiffelturm: **7300 t**

Aber leider auch viel **Schrott!**



Wie entsteht Weltraumschrott?

ausgediente Satelliten (13%)
aktive Satelliten (6% ~1000)
(Envisat)



Fragmentationen und Kollisionen (64%)



**bei Missionen frei-
gesetzte Objekte**
Oberstufen (16%)



Kollisionen zwischen Satelliten

10. Februar 2009 Kollision zwischen
Cosmos 2251 und Iridium 33
über Taymyr, Sibirien

Relativgeschwindigkeit:
11,7 km/s

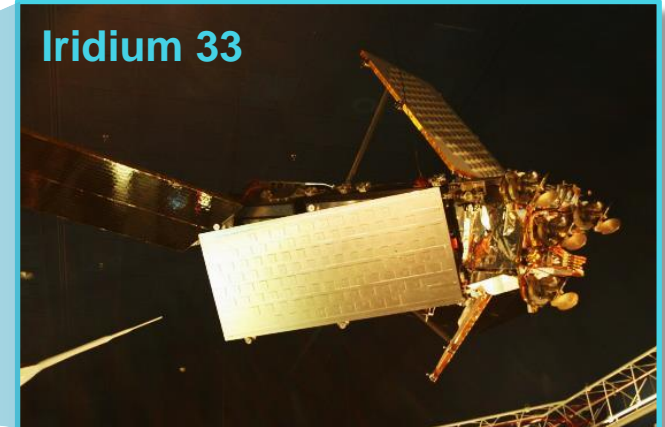


IRIDIUM_33

COSMOS_2251

Video courtesy of Analytical Graphics, Inc. (www.agi.com)

Iridium 33

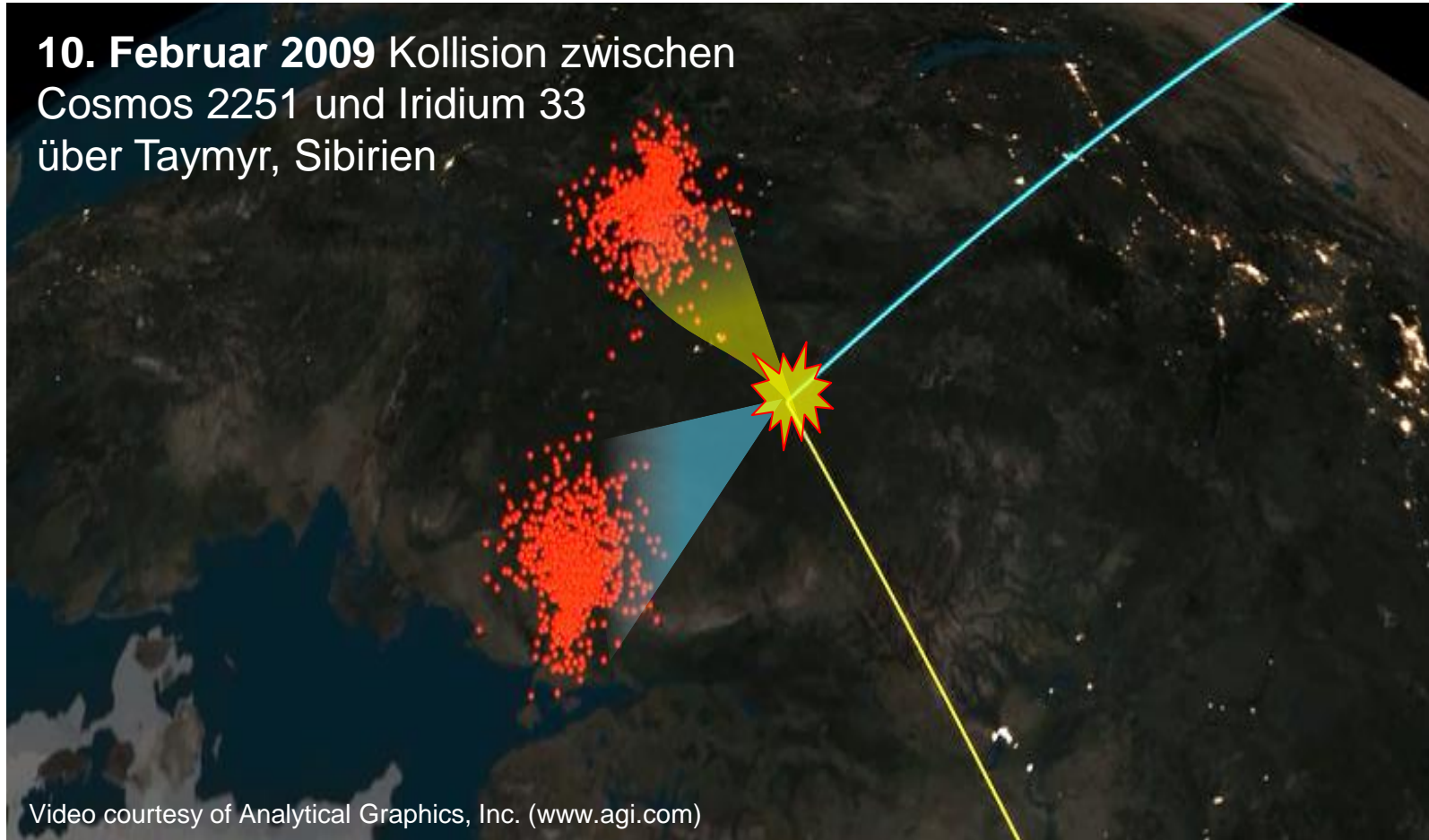


Cosmos 2251



Kollisionen zwischen Satelliten

10. Februar 2009 Kollision zwischen
Cosmos 2251 und Iridium 33
über Taymyr, Sibirien



Abweichung laut Bahnprognose:

584 m

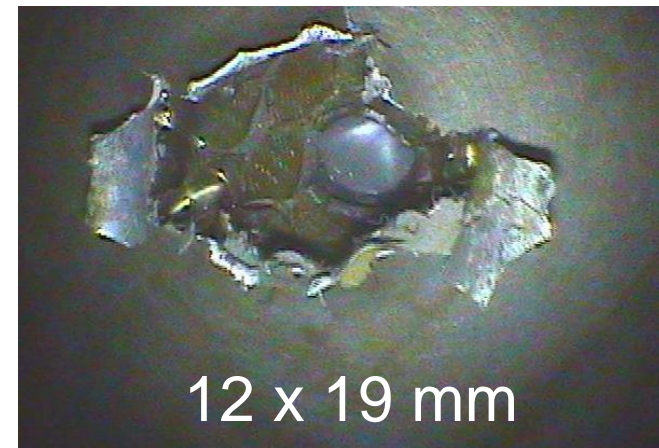
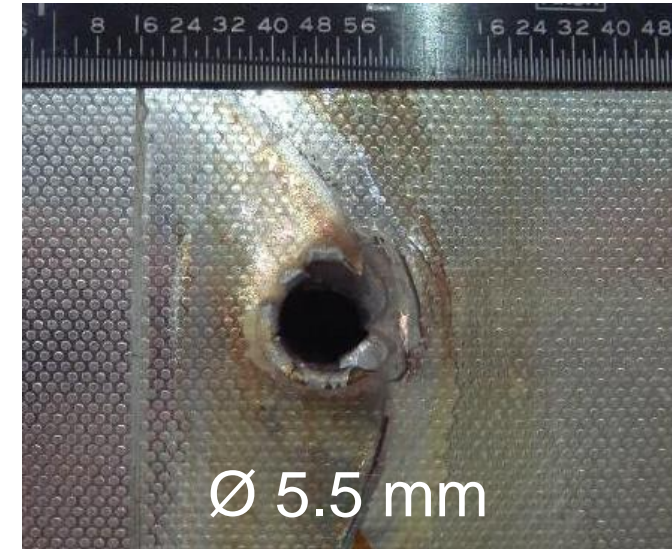
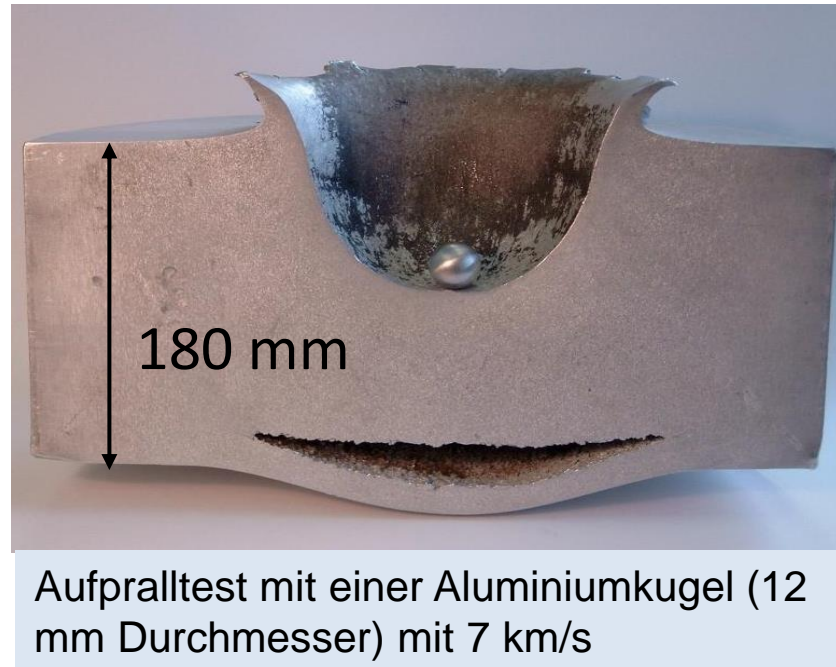
469 Iridium-Trümmer

1301 Kosmos-Trümmer

Auswirkungen von Weltraumschrott



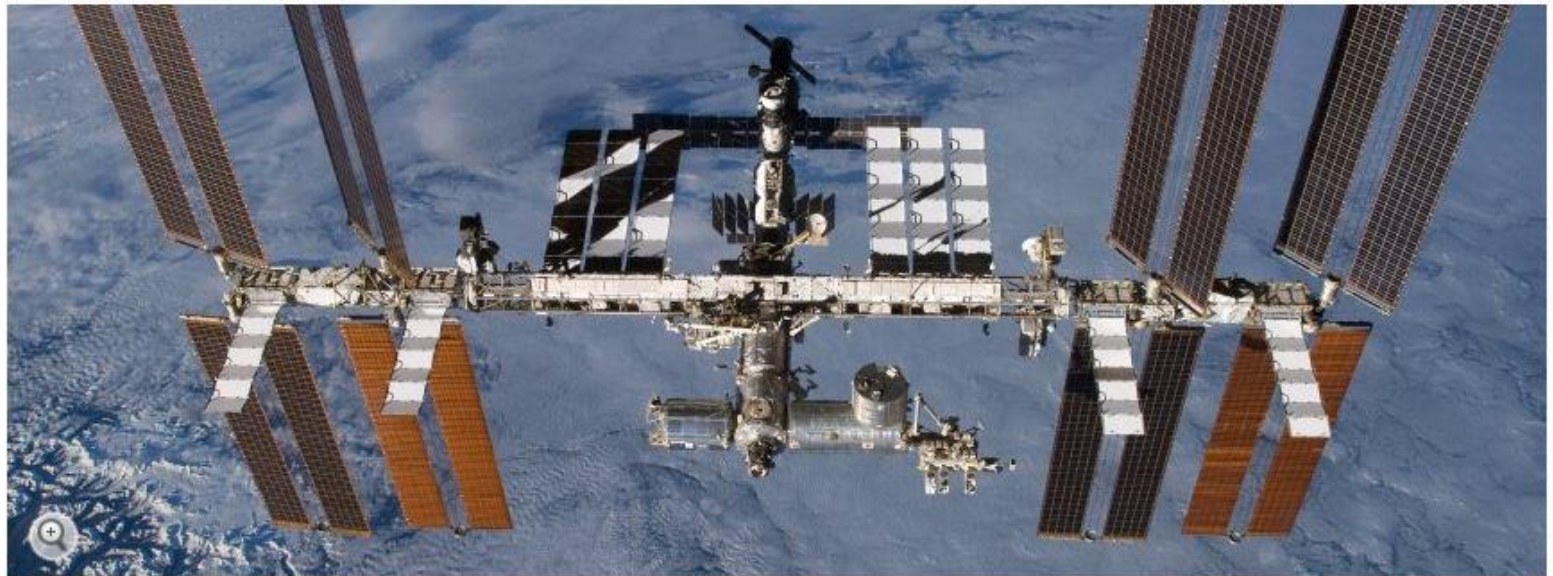
Aluminium Honigwaben-Struktur
 $v = 7 \text{ km/s}$



Weltraumschrott: Gefahr für die ISS



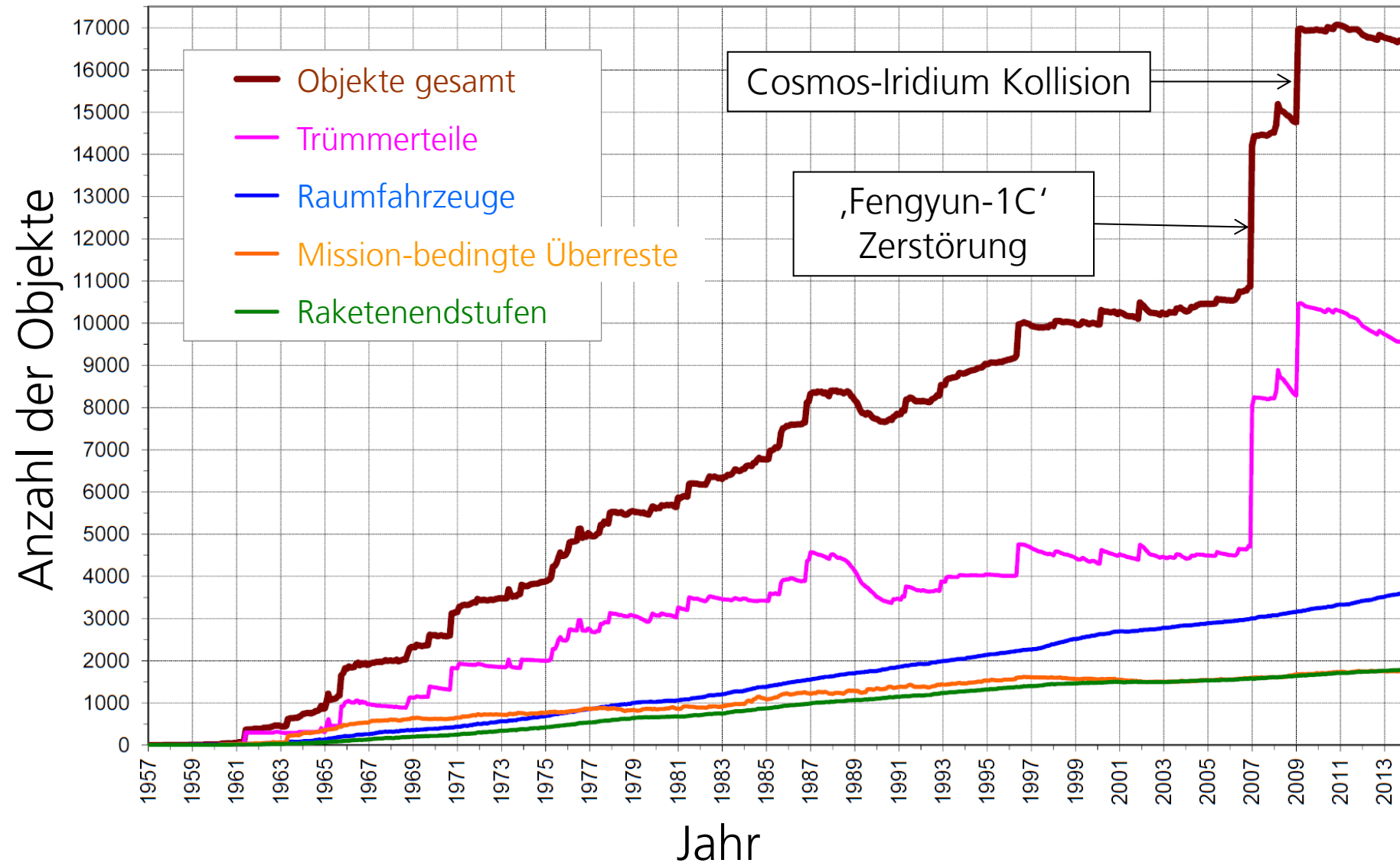
Furcht vor Weltraumschrott: ISS-Besatzung flüchtet in Weltraumkapsel



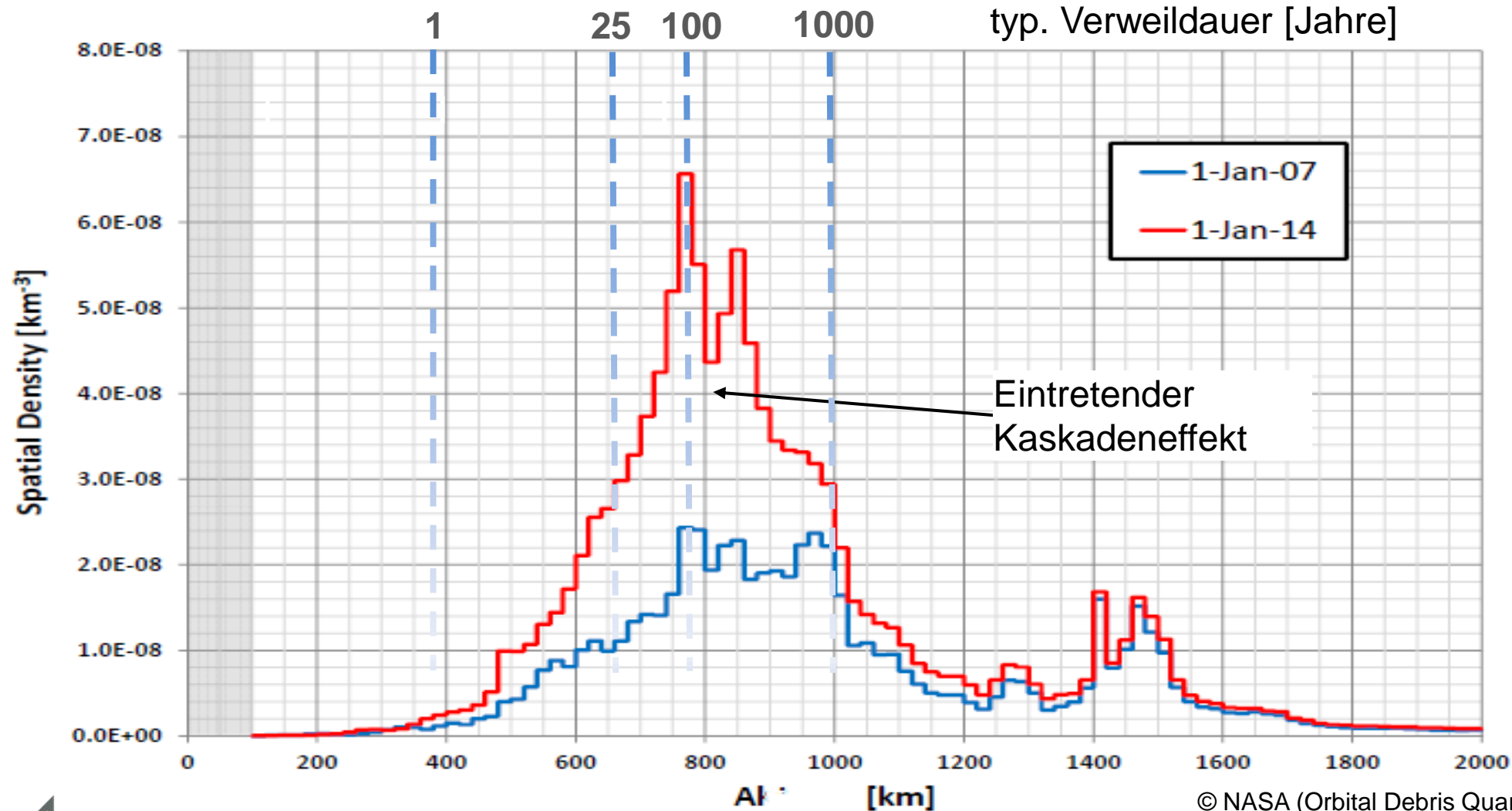
Internationale Raumstation ISS: Astronauten aus den USA, Russland und Japan sind derzeit an Bord

Die Astronauten der Internationalen Raumstation hatten sich in eine andockte Kapsel zurückgezogen - sie fürchteten eine Kollision mit anfliegendem Satellitenschrott. Doch das Teil flog knapp vorbei.

Monatliche Anzahl Objekte (<10cm) im Erdorbit nach Typ



Dichte der Objekte (ab ~10 cm Größe)

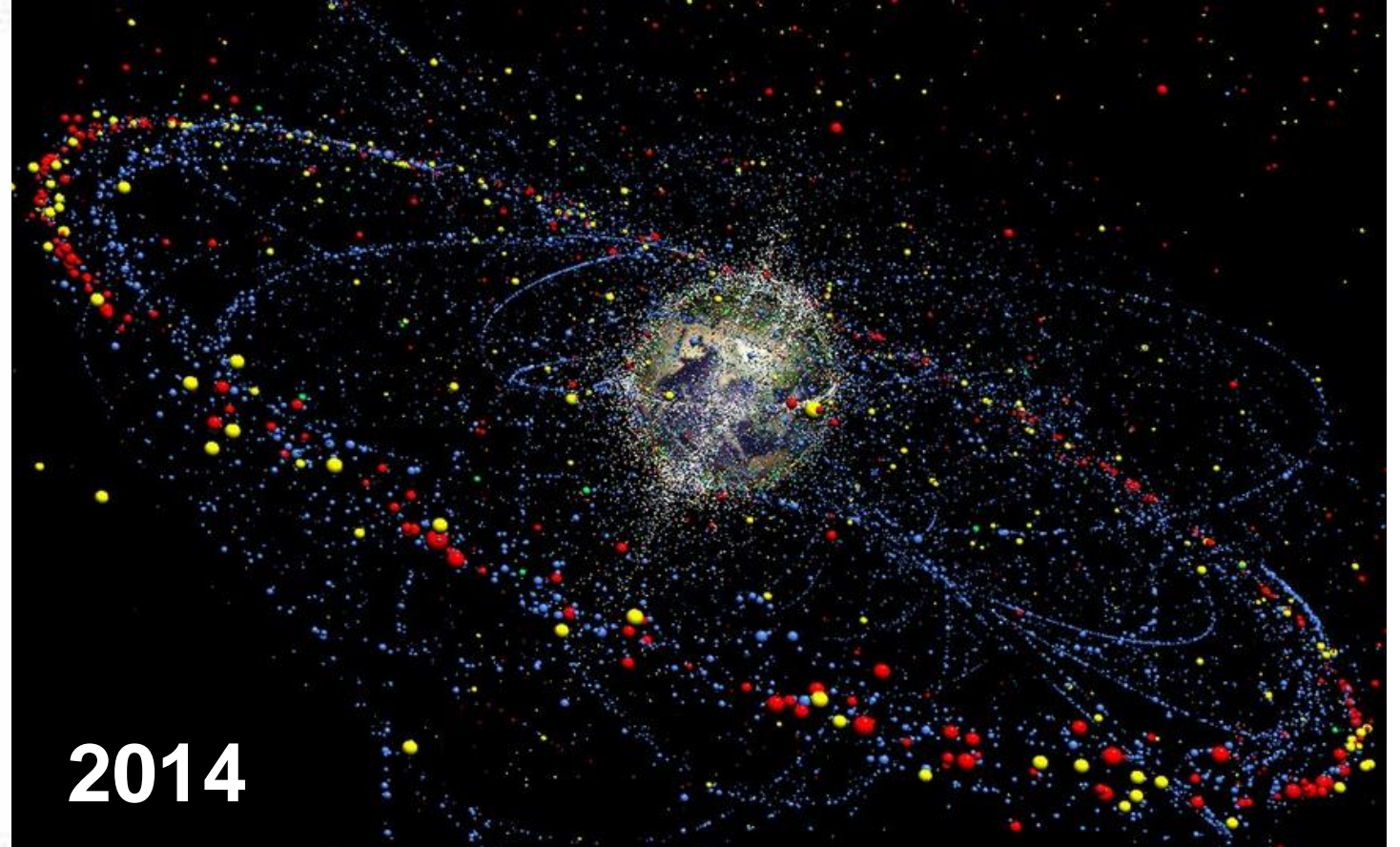
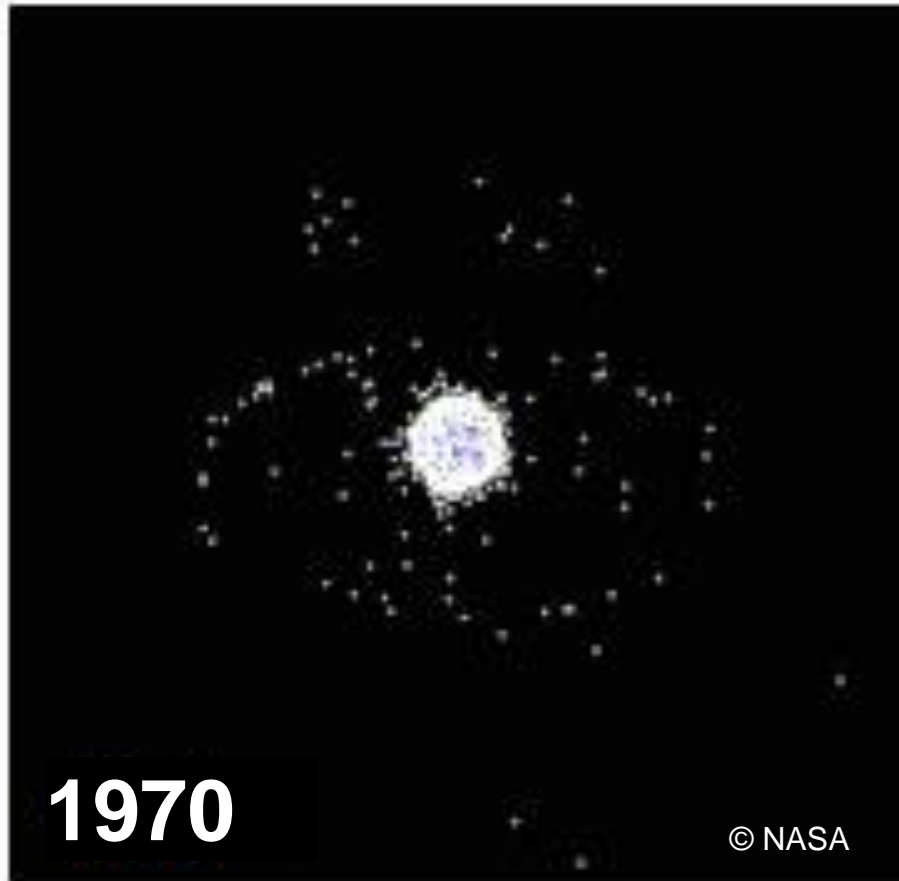


Katalogisierte
Objekte
ab 10 cm Größe

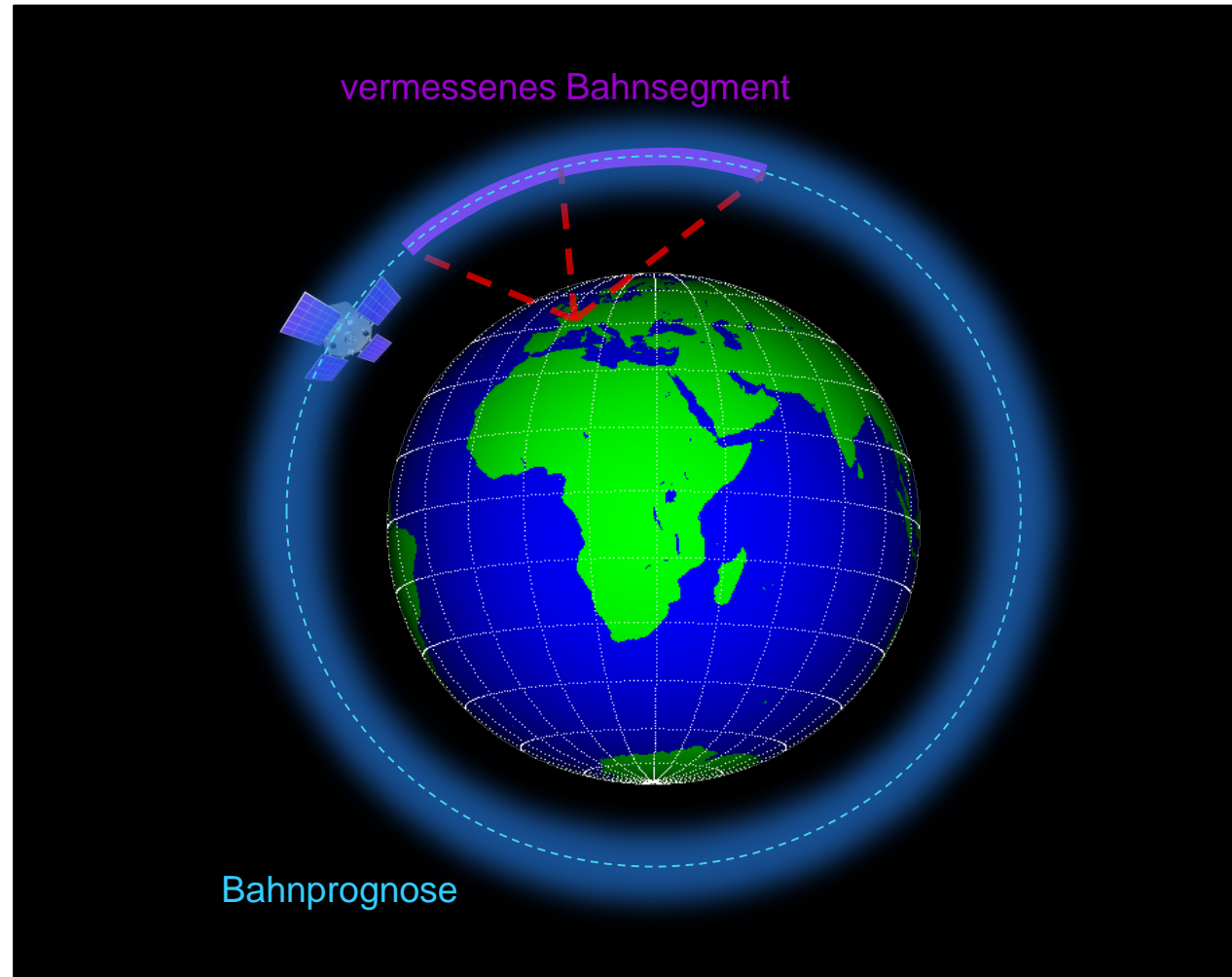
Gesamt: 28.000
Katalog: 18.000

© NASA (Orbital Debris Quarterly News Vol 18-2, 2014)

Anzahl der Trümmerteile (ab ~10 cm Größe)



Ortung von Weltraumschrott im LEO



Laserbasierte Ortung von Weltraumschrott im LEO

Genauigkeit

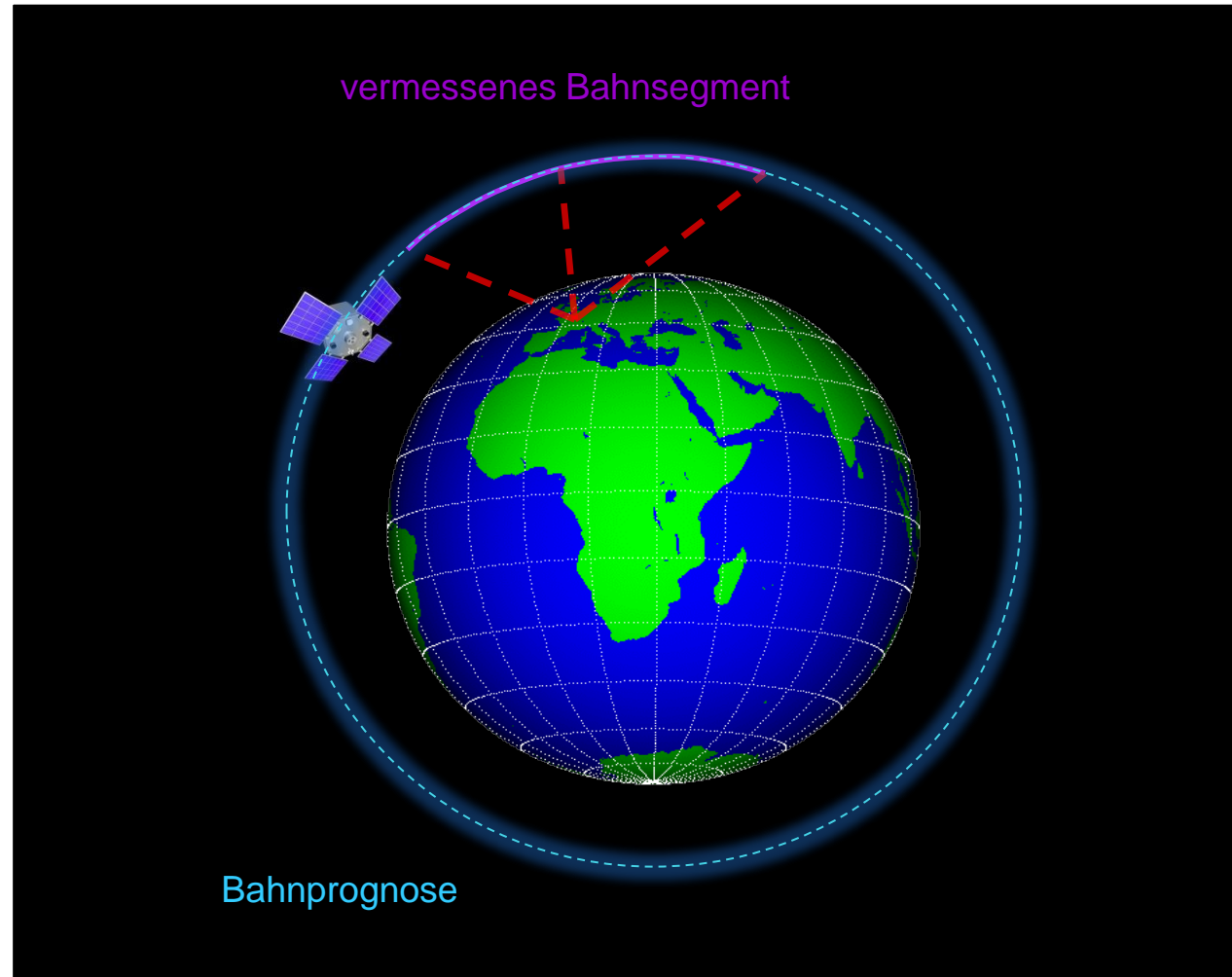
Winkelmessung:

- ~2 arcsec

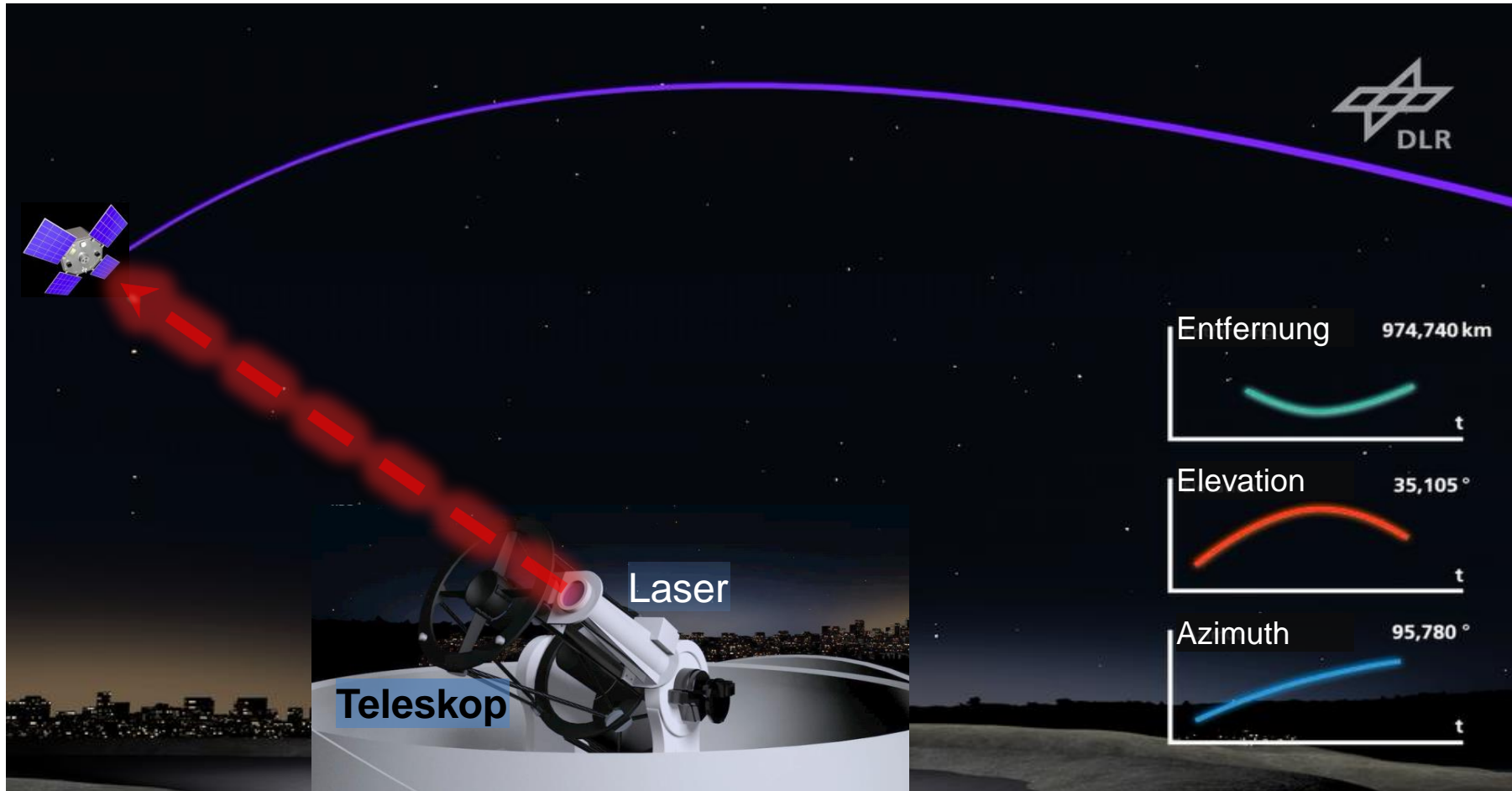
Genauigkeit

Laserranging:

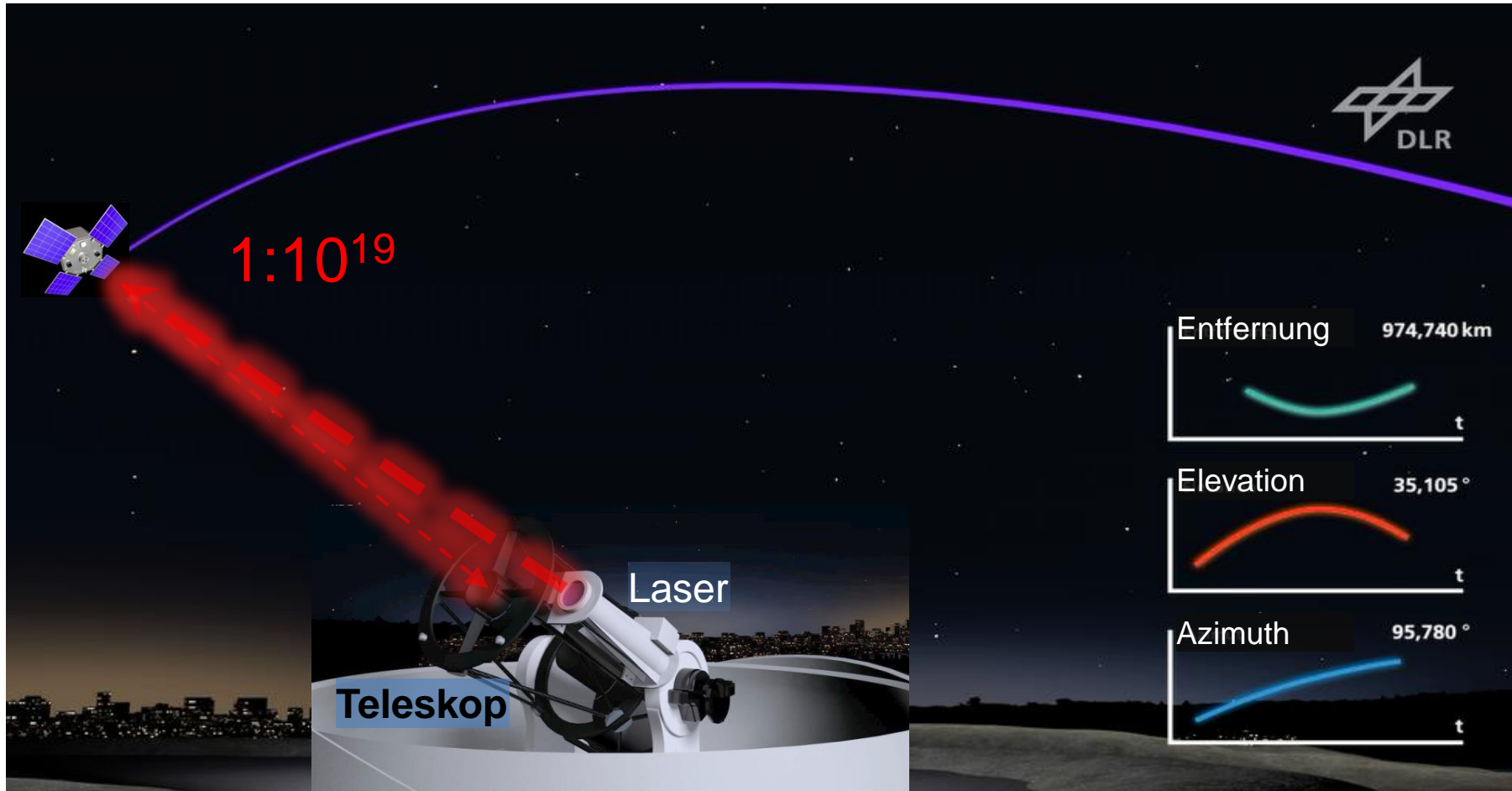
- ~0.1m



Neues Detektionsprinzip: **Laserbasierte Ortung von Weltraumschrott**



Bestimmung der Entfernung



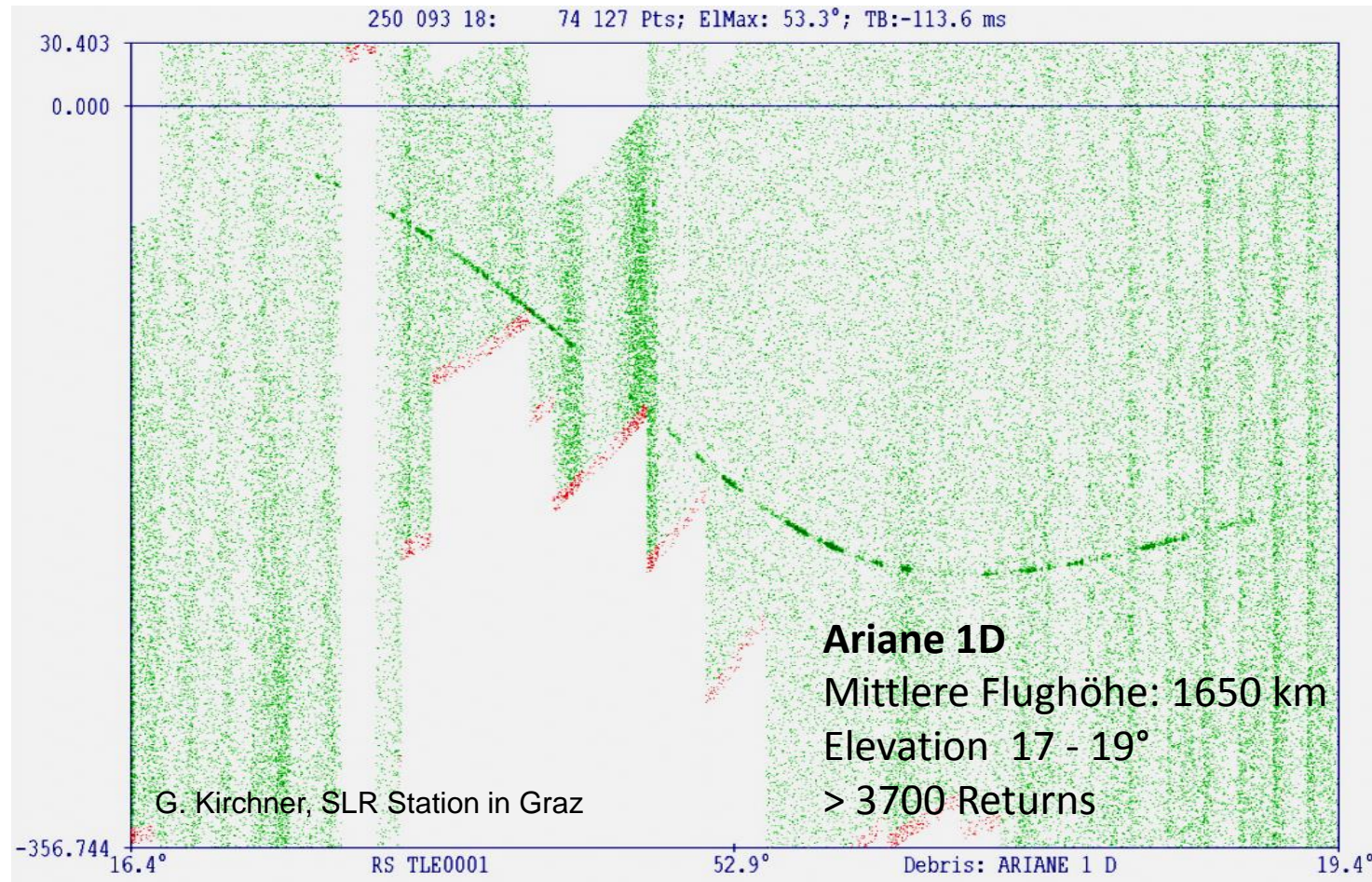
Kurze Laserpulse ~ 10 ns

Laufzeit Laserpuls τ :

Entfernung d :

$$d = \tau * c/2$$

Bestimmung der Entfernung



Kurze Laserpulse ~ 10 ns

Laufzeit Laserpuls τ :

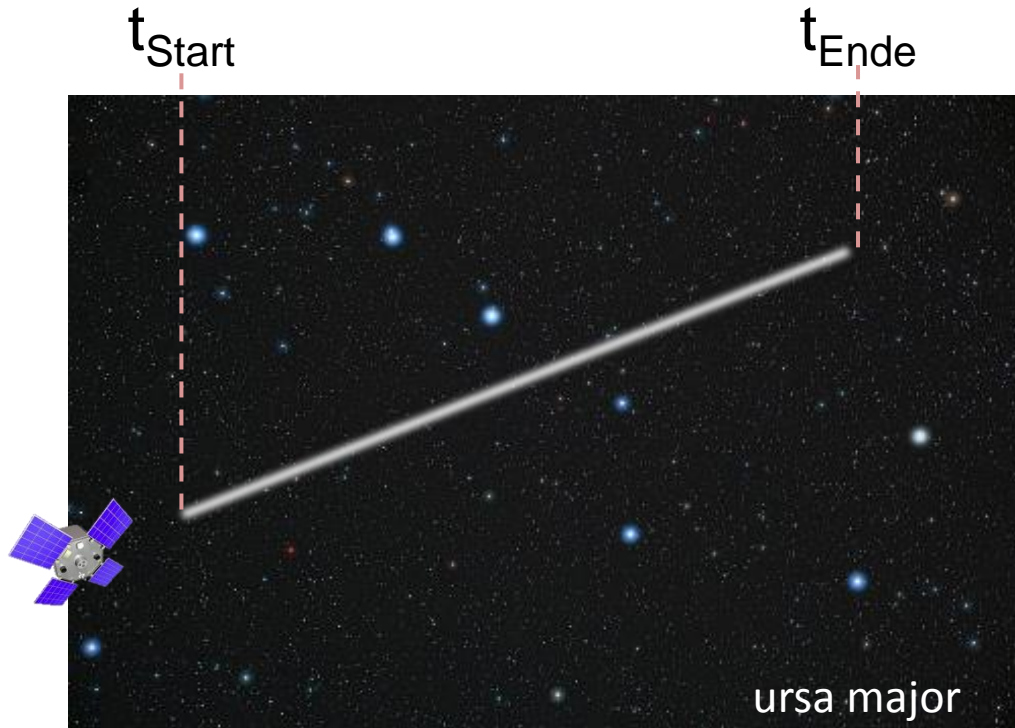
Entfernung d:

$$d = \tau * c/2$$

Genauigkeit: < 5 m

Entfernung: bis 2500 km

Bestimmung der Winkeldaten

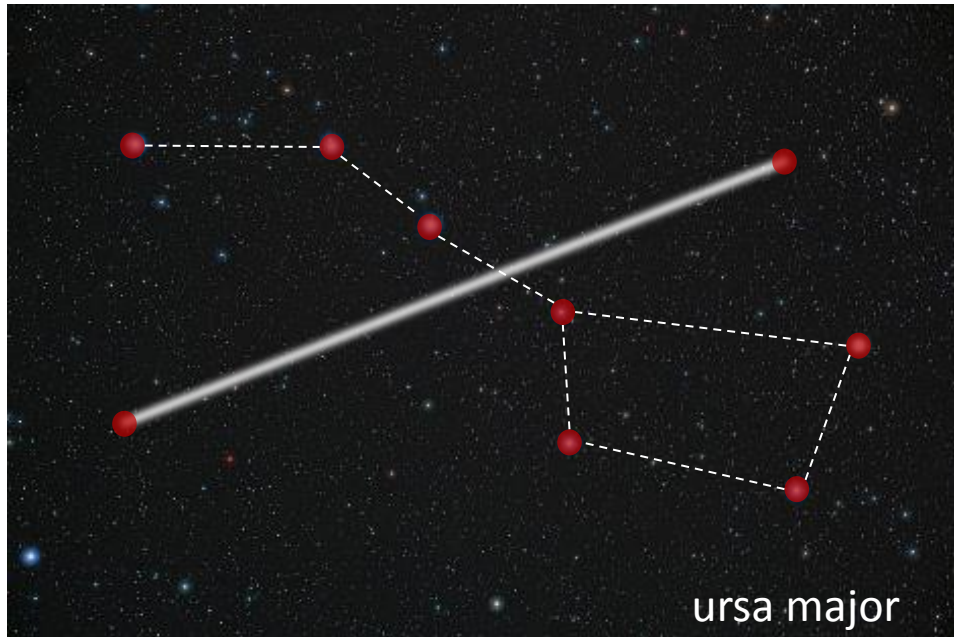


Auswertung der Satellitenleuchtspuren

Referenz zum Fixsternhimmel



Bestimmung der Winkeldaten



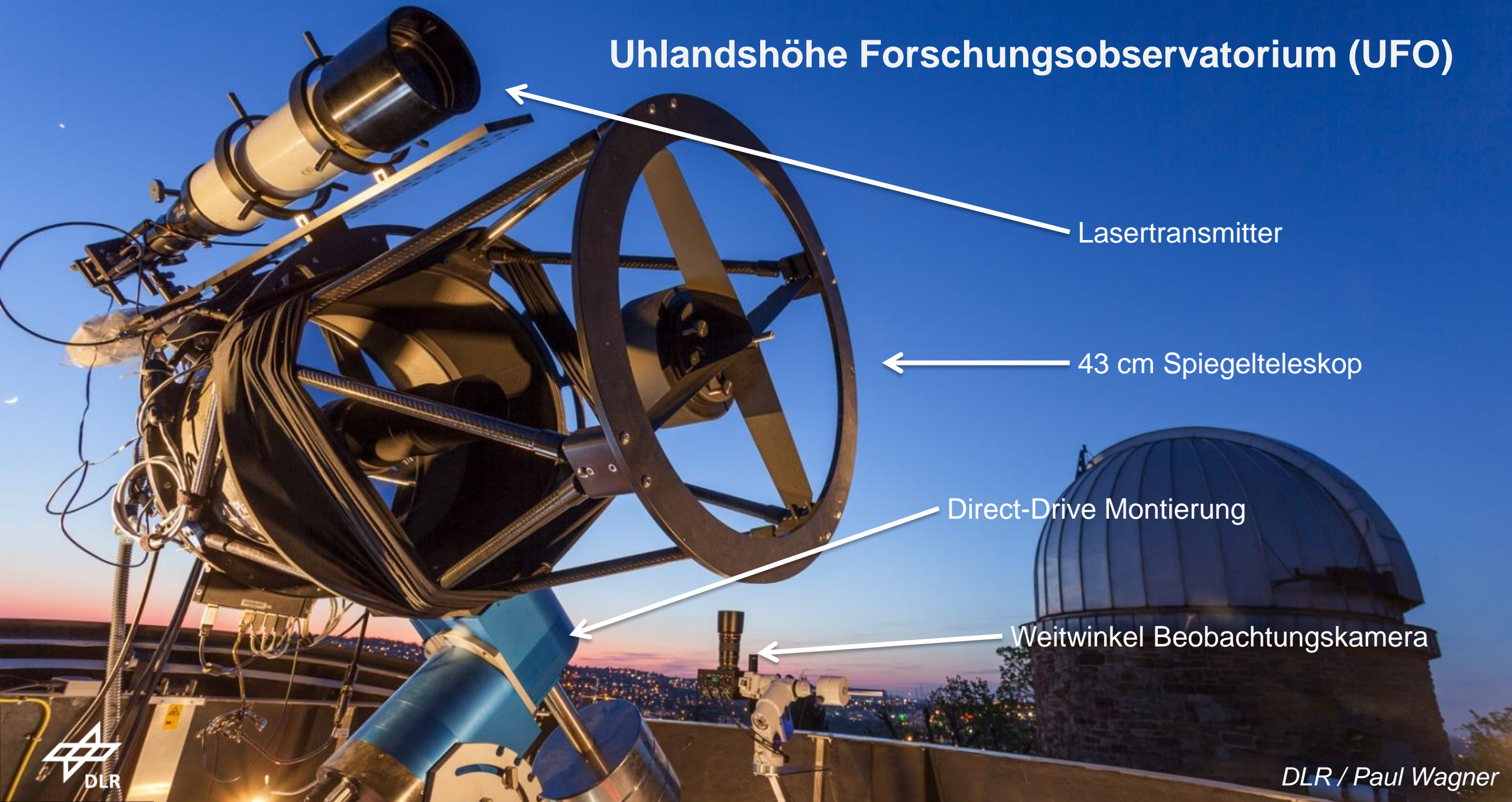
Auswertung der Satellitenleuchtspuren

Referenz zum Fixsternhimmel
Identifizierung von Leitsternen

Azimuth/Elevationswerte der Endpunkte der Spur

Genauigkeit: **< 2 Bogensekunden**
< 10 m in 1000 km Entfernung





Uhlandshöhe Forschungsobservatorium (UFO)

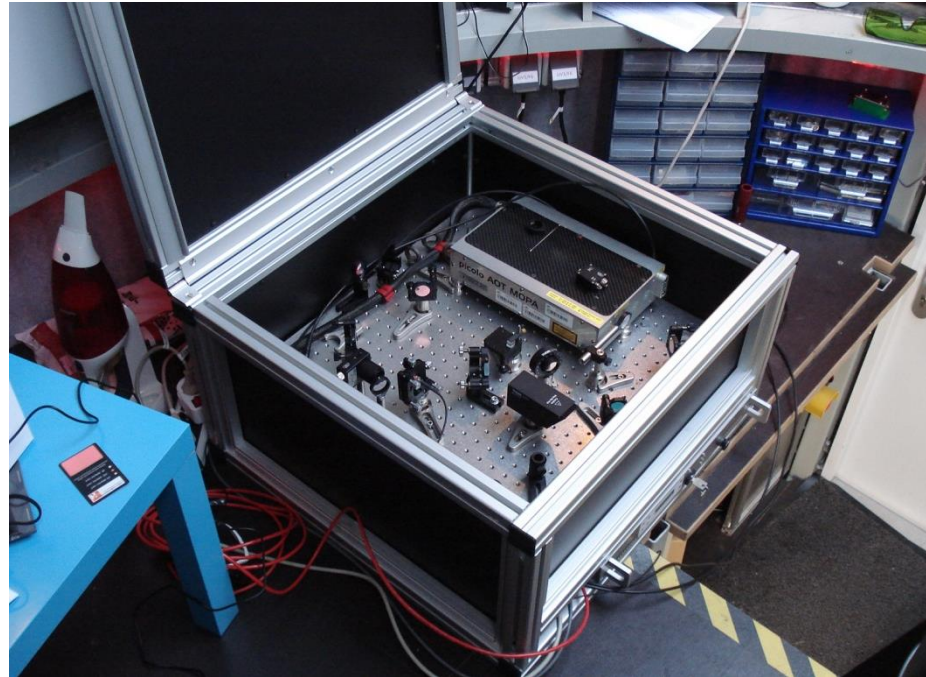
- Schwäbische Sternwarte Stuttgart e.V.
- 43 cm PlaneWave CDK 17" Dall-Kirkham Reflektor
 - $f\#$ 6.4
 - $f' = 2.94\text{m}$
 - $\text{FOV} = 0.3^\circ$
- Astelco NTM-500 Montierung
 - Positioniergenauigkeit: $20^\circ/\text{s}$
- Andor Zyla sCMOS Kamera
 - 5.5 MPx
 - Kurze Auslösezeit und
 - ns genauen Trigger
- GPS Timer für Zeitsynchronisierung (μs)



Laserquelle

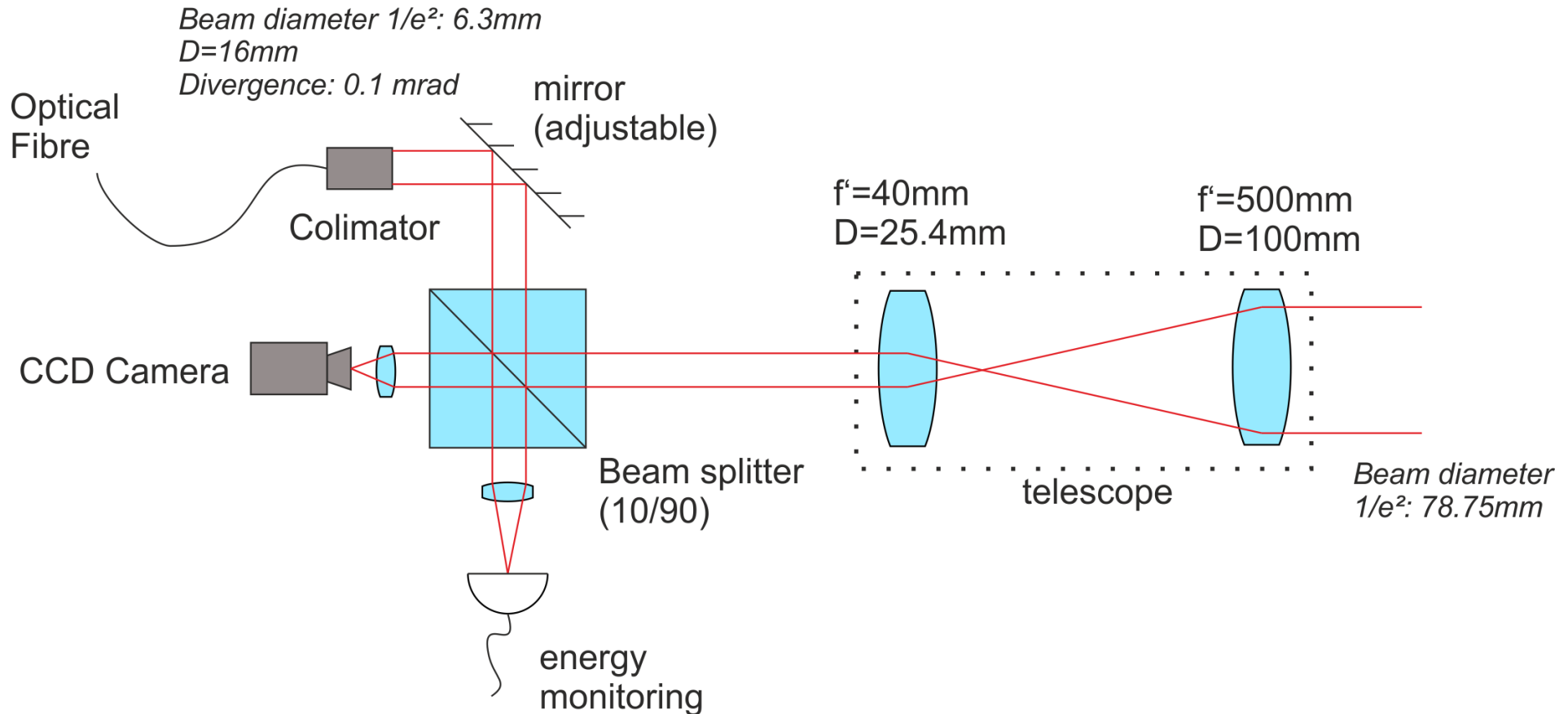
- gepulster Nd:YAG Laser
- Optische Faser

Innolas AOT 1-YAG	
Wellenlänge	1064 nm
Pulsdauer	3 ns
Rep. Rate	1 kHz
Pulsenergie	300 μ J
Leistung	300 mW @ 1 kHz



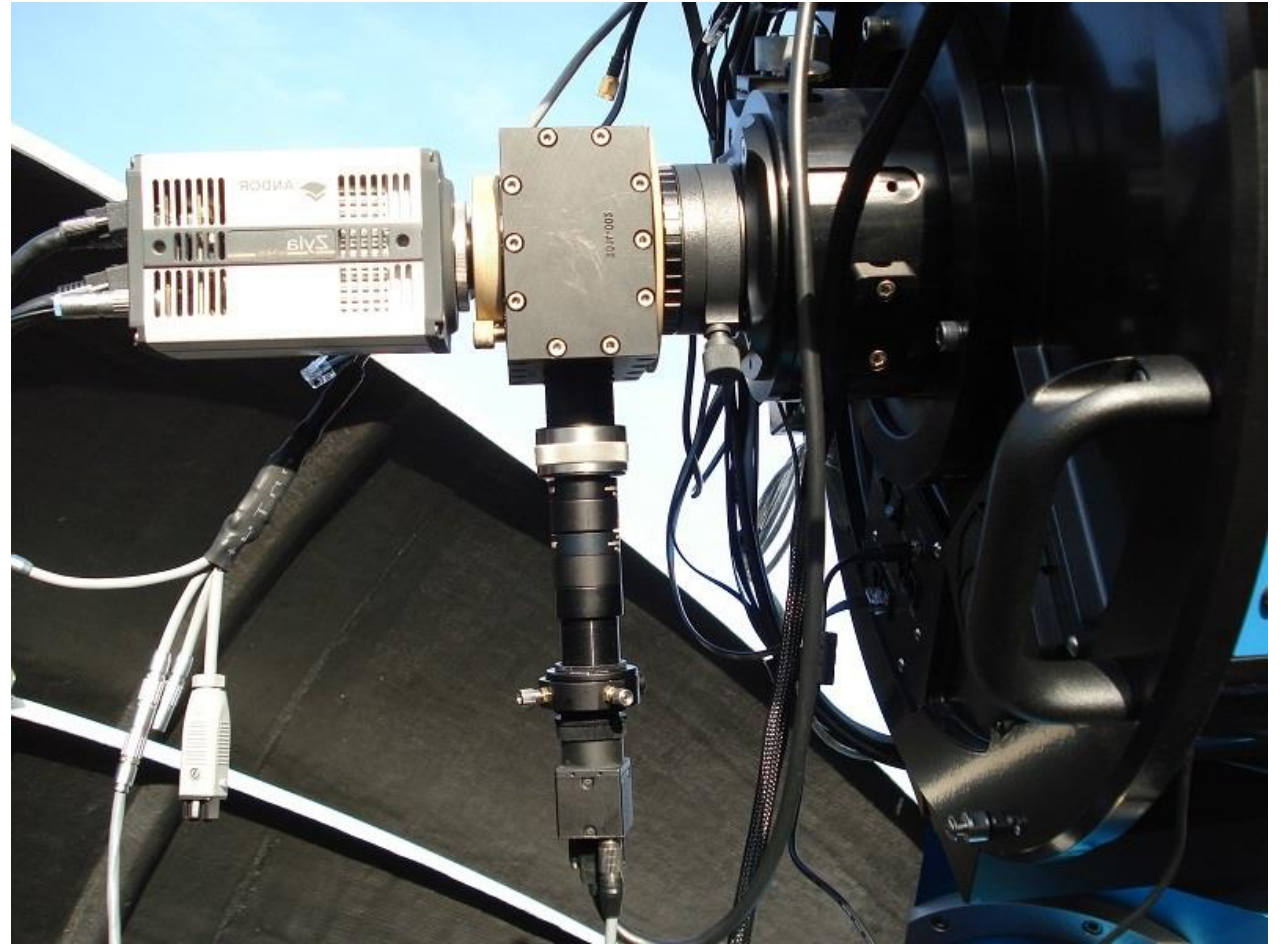
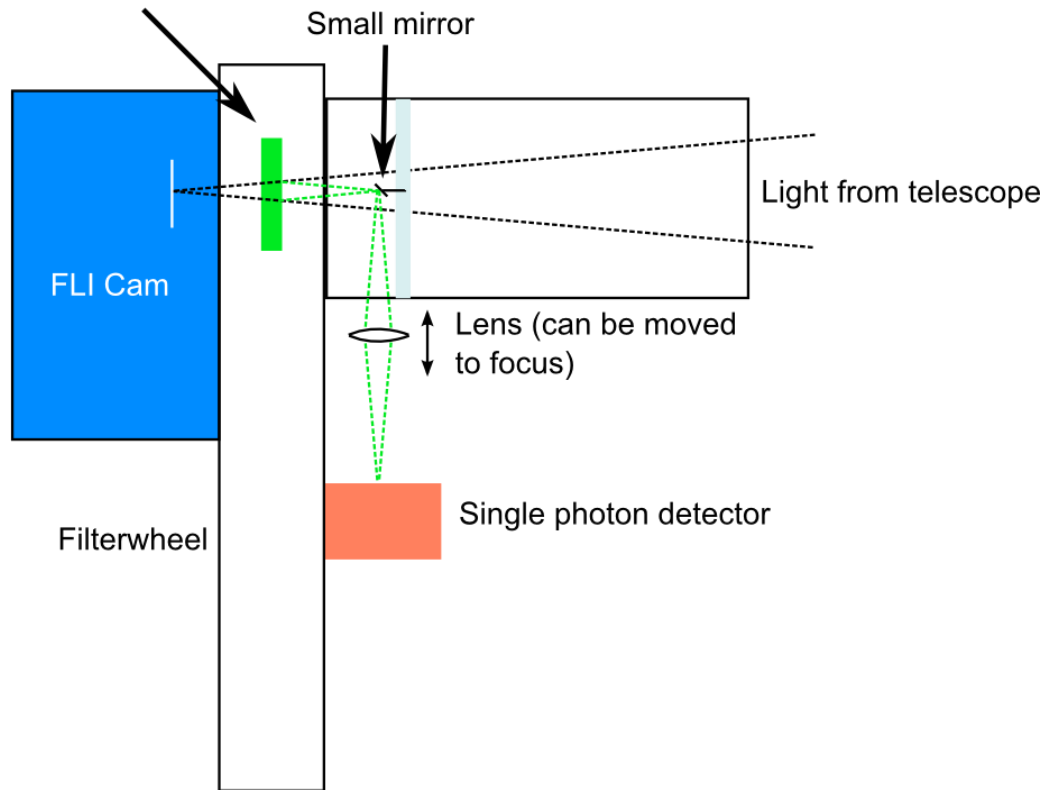
Lasertransmitter

- Retros für Strahlrichtungsjustierung

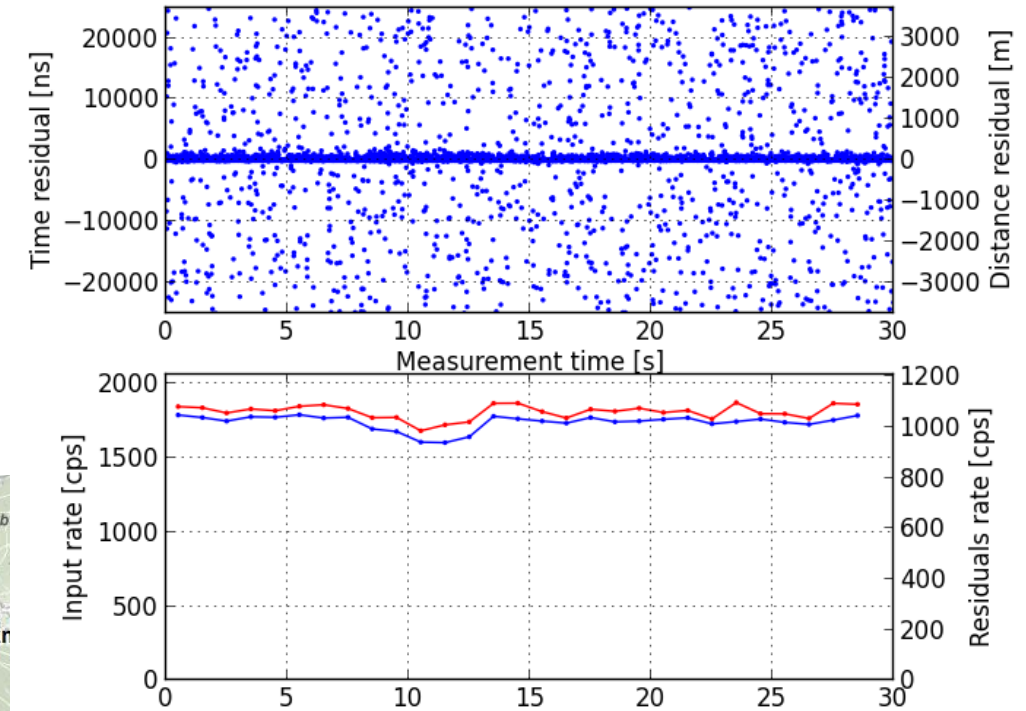
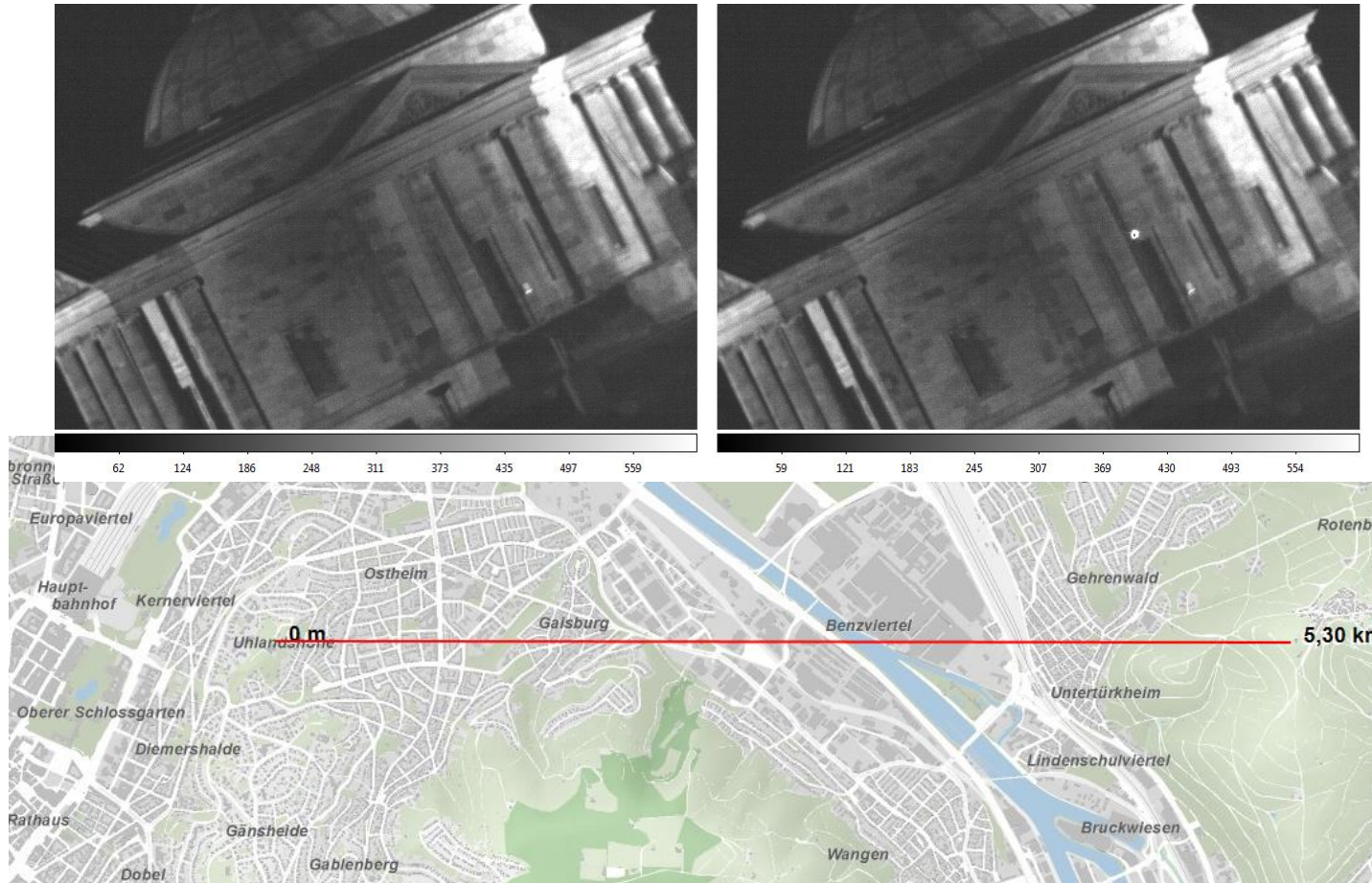


Empfangseinheit/-teleskop

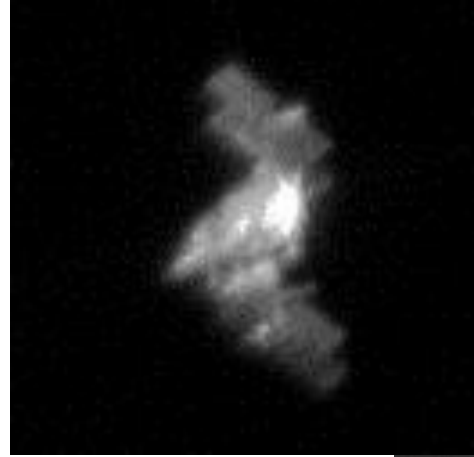
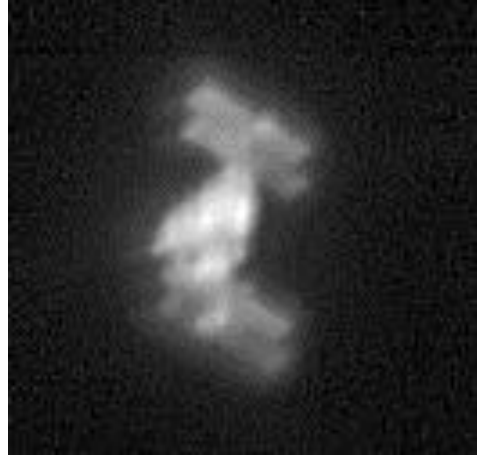
Filter: Reflect laser wavelength,
transmits everything else



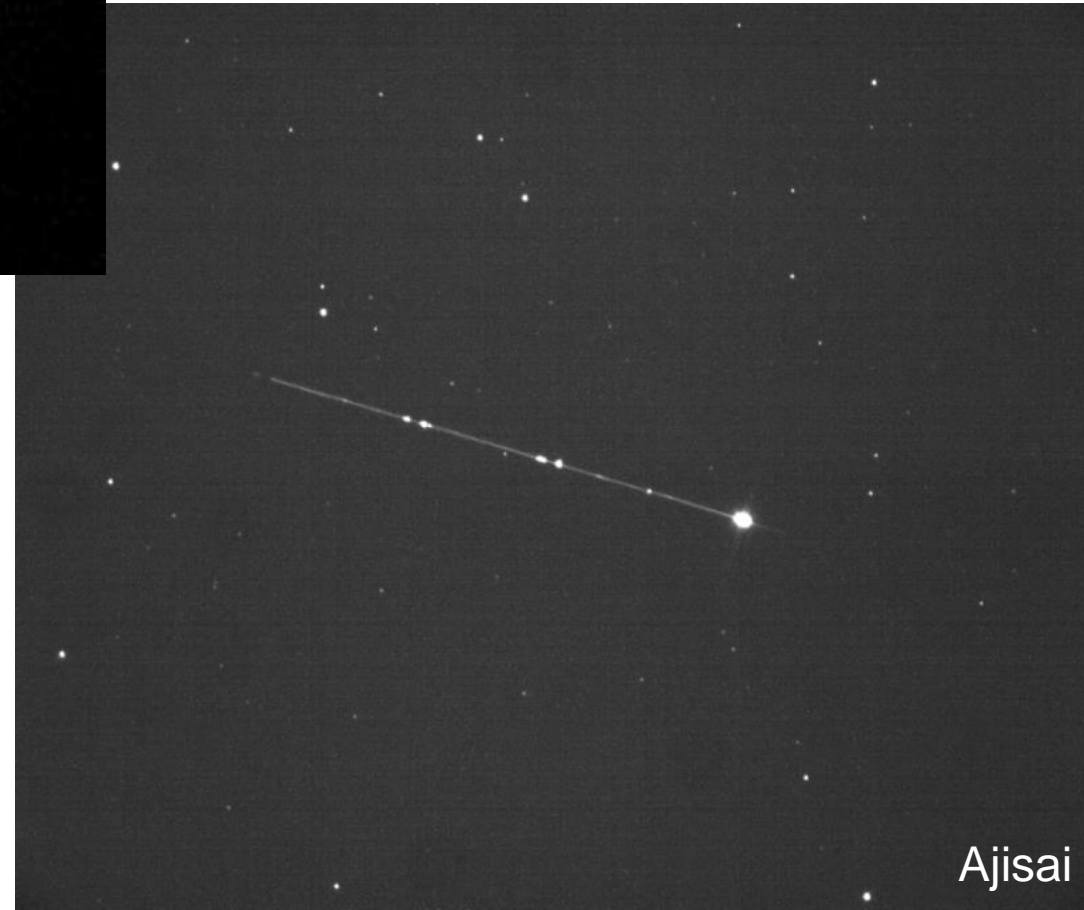
Teststrecke



Highlights



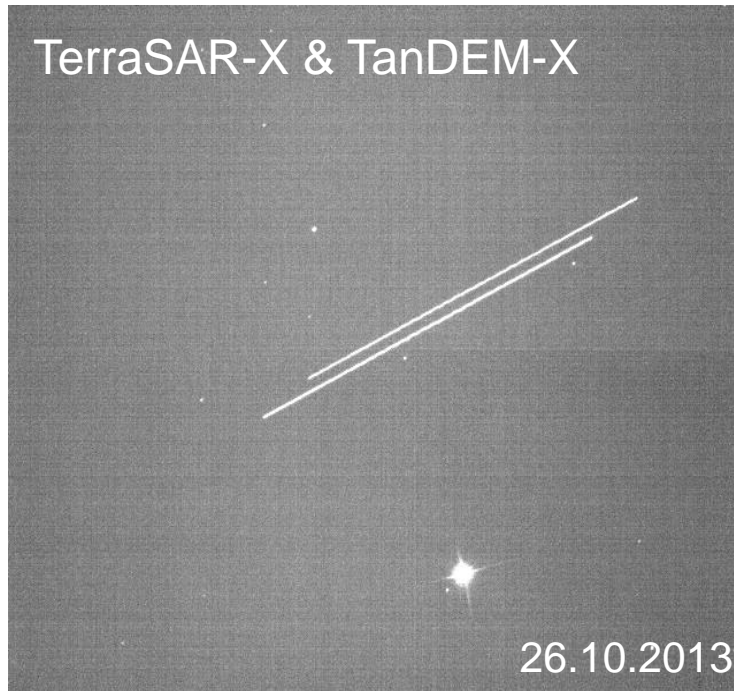
Continuous
tracking
of ISS



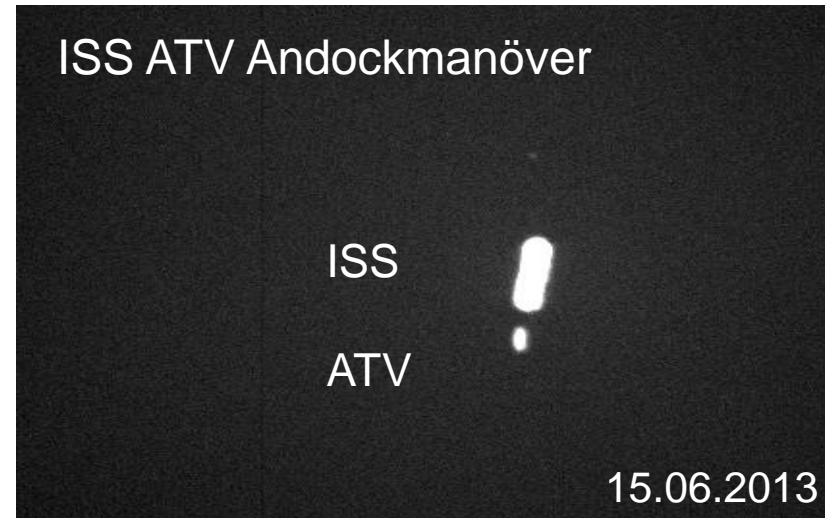
Ajisai



Aufnahme von Satelliten im Formationsflug



Größe 5 X 2 m X 2 m
Bahnhöhe 514 km
Abstand ~ 100 m:



ISS
Größe: 110 m X 100 m X 30 m
Bahnhöhe: ~ 400 km

ATV: 10 m X 4 m

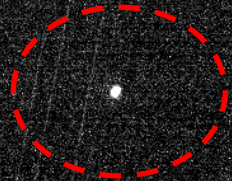


Continuous Tracking

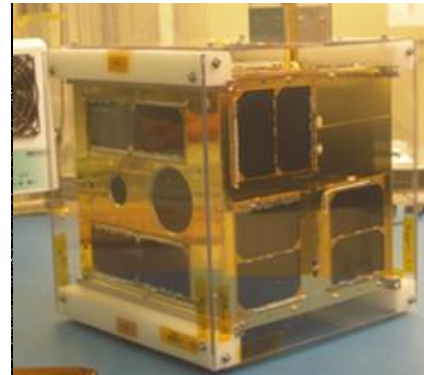
Detektion kleiner Objekte (Cubesats)



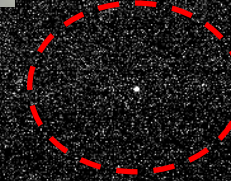
10 x 10 x 11 cm



Aufnahme:
08.03.2014
18:41 UTC
AAUSAT3 (775 / 793 km)
Belichtungszeit 2 s



20x20x20 cm



Aufnahme:
08.03.2014
18:36:07:00 UTC
UNIBRITE (777 / 790 km)
Belichtungszeit 2 s

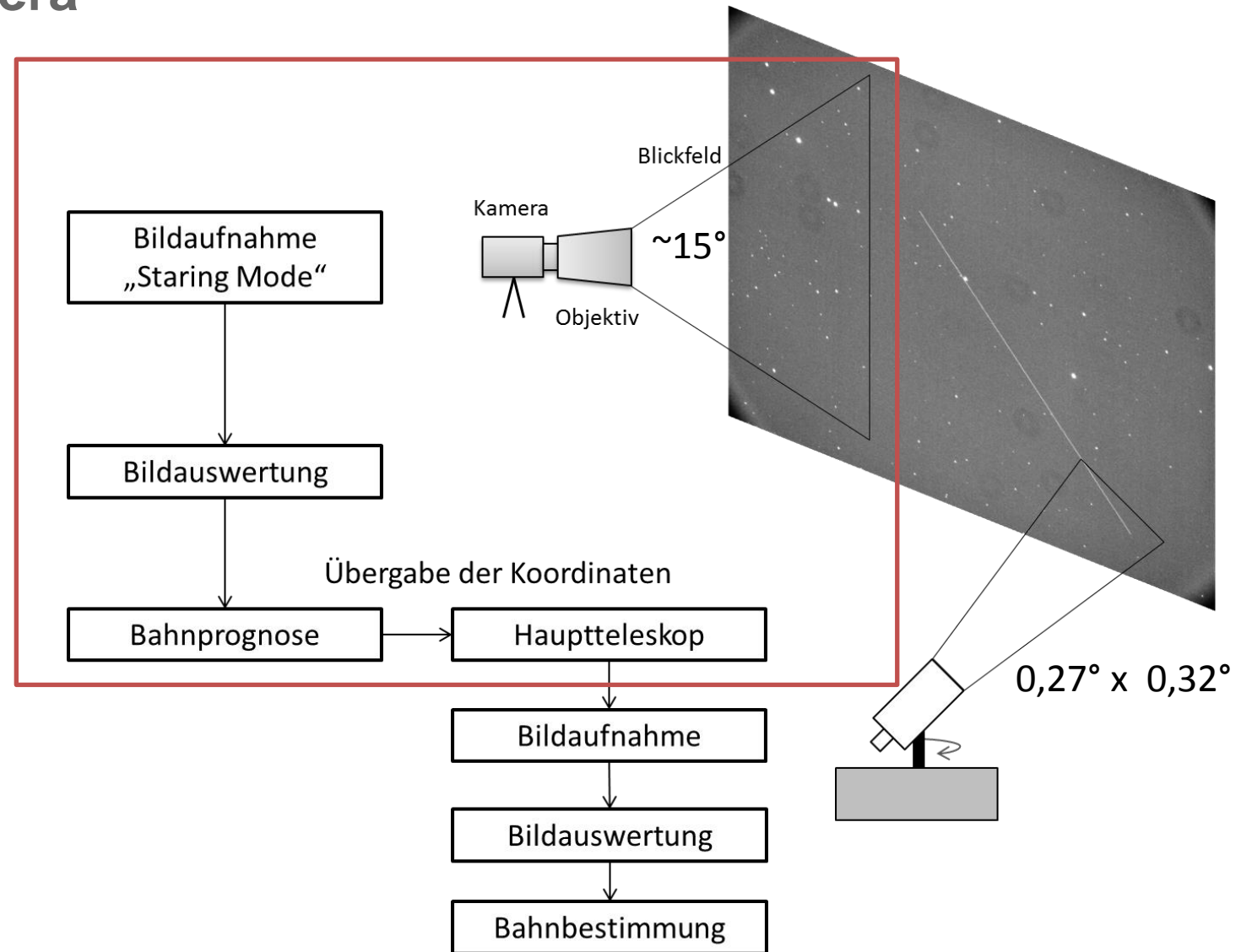


Weitere Messgeräte

- **Weitwinkel Beobachtungskamera um unbekannte LEO Objekte zu detektieren**
 - FOV 15°, $f'=135\text{mm}$, $f\#2$, 4096 x 4096 px
 - 24 obj/h
- All-Sky Kamera (FOV 360°)
- Wetterstation und Wolkensensor
- ADS-B Receiver



Weitwinkel Beobachtungskamera



Weitwinkel Beobachtungskamera

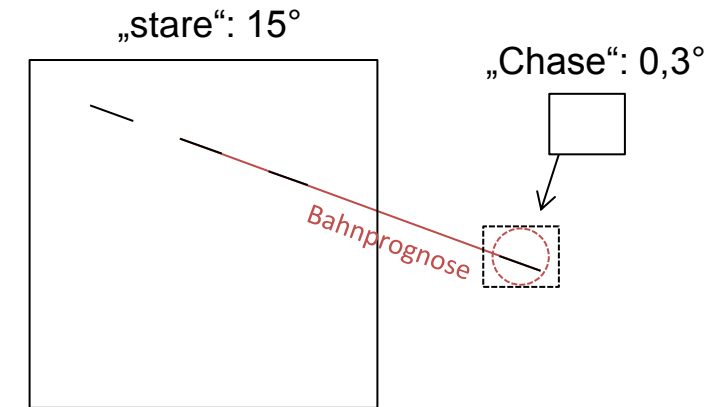
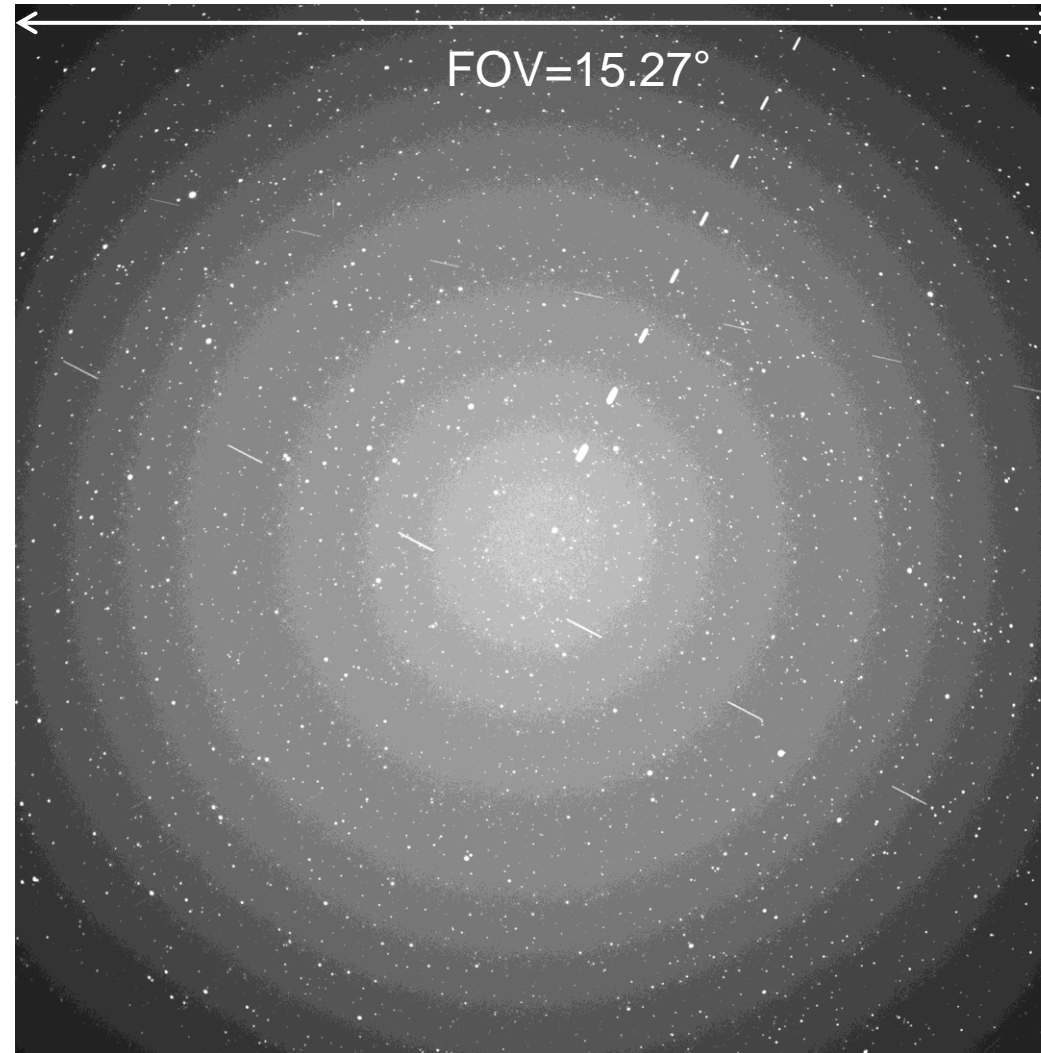
- FLI CCD
- 135mm f#2
- Belichtungszeit: 1s,
- Alt.: 90°, El.: 90°,
- 17.04.2014 20:46 (UTC).

Bild:

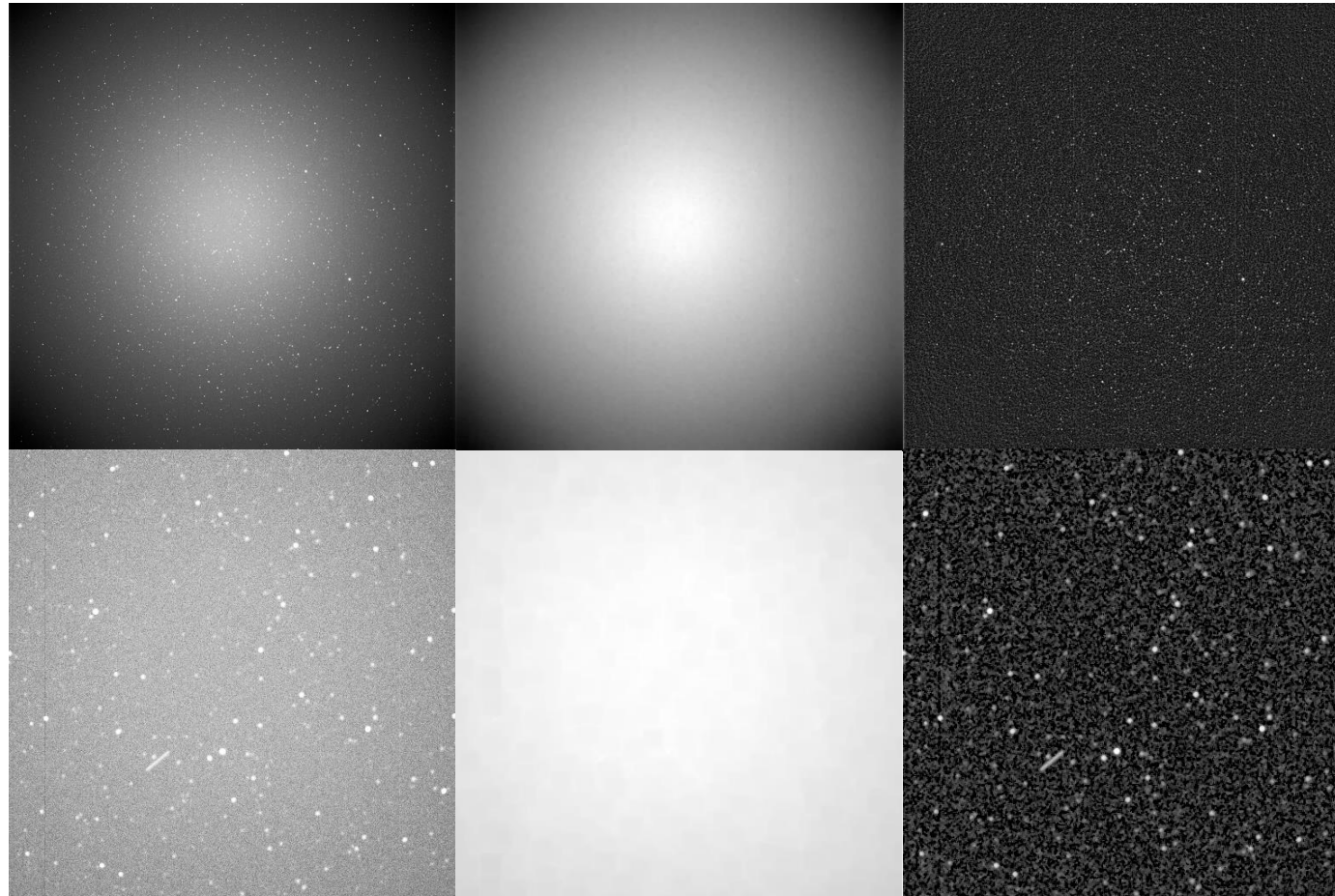
- 20 Aufnahmen
- Dauer: 1min

Video:

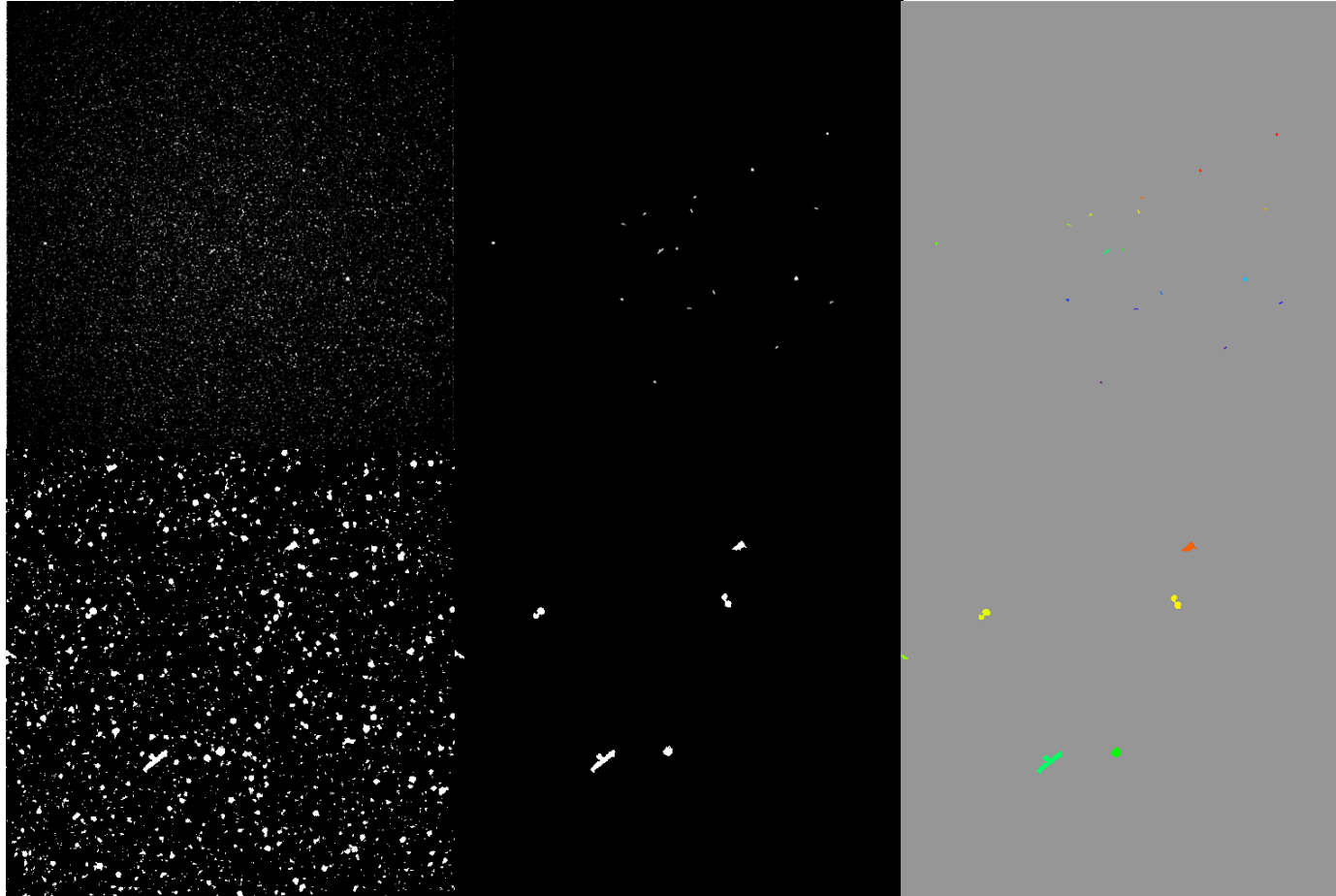
- 20:46-21:20 (UTC)
- 408 Aufnahmen



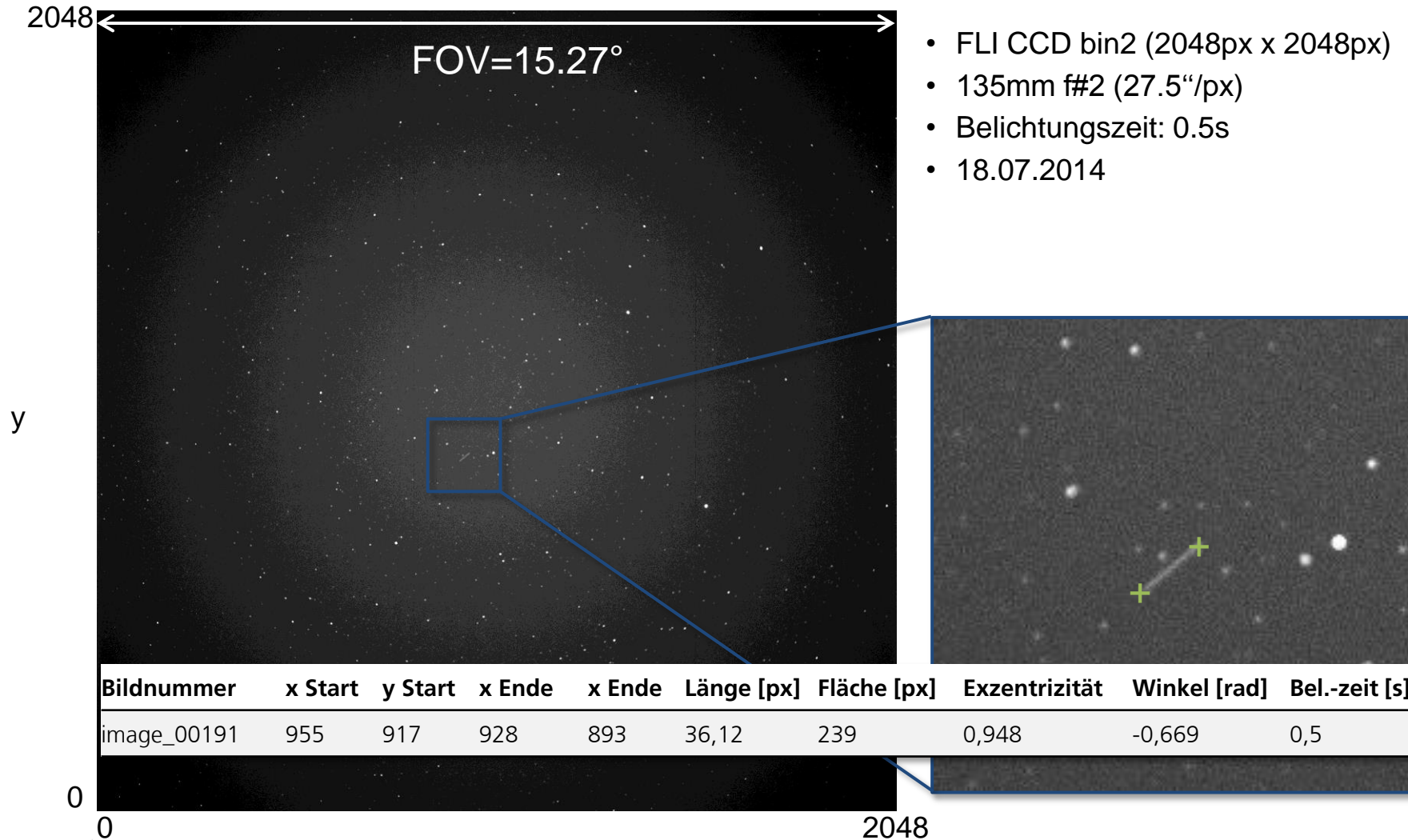
Bildanalyse - Vignettierungskorrektur



Bildanalyse - Klassifizieren



Datenauswertung

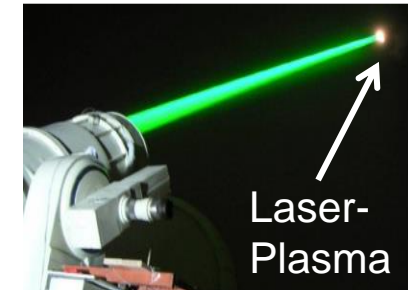
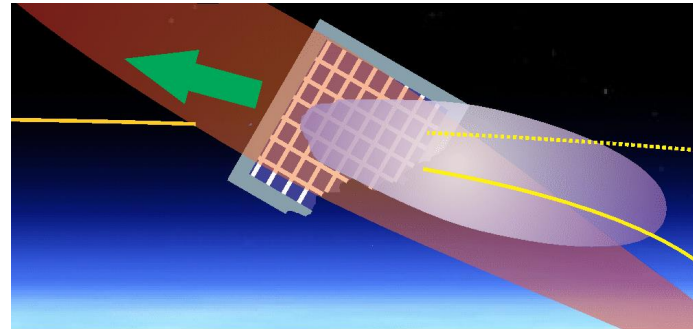
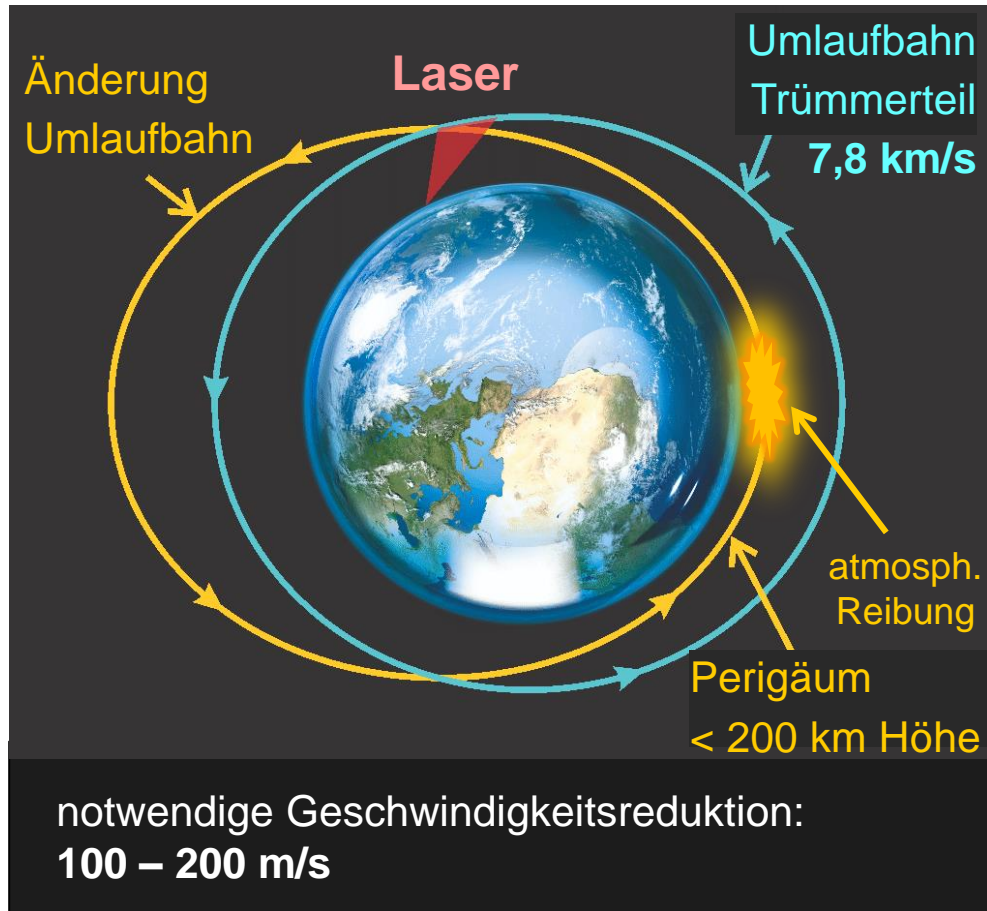


Ausblick

- Ranging zu Satelliten
- Laser mit hoher Leistung (Neue Station, Standort)
- Integration des stare and chase
- Bahnberechnung



Lasergestützte Entfernung von Weltraumschrott



1. Laserinduzierte Ablation:
Verdampfung, Plasmaerzeugung
2. Rückstoß durch Impulsübertrag
3. Geschwindigkeitsreduktion
4. Bahnabsenkung
5. Verglühen in der Atmosphäre

Studenten gesucht

- **Untersuchungen zur laser-induzierten Schädigung von Optiken für den Weltraumeinsatz (Laseroptik)**
- **Turbulenzanalyse mit bildgebenden Verfahren (BV)**
- **Kompaktes Laser Tracking System für schnell bewegliche Ziele – Aufbau (ABV)**
- <http://www.dlr.de/dlr/jobs/desktopdefault.aspx#StudienAbschlussarbeit/TechnischePhysik/S:255>



Satelliten im erdnahen Orbit

Langzeitbelichtungs-
aufnahme des Adlernebels
(Sternbild Schlange) mit
Spur eines LEO Satelliten

